

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Porovnání spolehlivosti spalovacích motorů osobního
automobilu**

Comparing the Reliability of Internal Combustion Vehicles
Engines

Student:

Kamil Sikora

Vedoucí Bakalářské práce:doc.

Ing. Famfulík Jan, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Kamil Sikora**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 10 Dopravní technika
Téma: Porovnání spolehlivosti spalovacích motorů osobního automobilu
Comparing the Reliability of Internal Combustion Vehicles Engines

Zásady pro vypracování:

Osnova:

1. Technický popis vybraných spalovacích motorů
2. Stochastické metody hodnocení spolehlivosti
3. Provedení odhadů spolehlivostních charakteristik využitím empirických dat
4. Technické a ekonomické hodnocení získaných výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

Famfulík, J. Teorie údržby. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8

Podklady společnosti provádějící údržbu vozidel

Daněk, A., Famfulík, J., Šíroky, J. Výpočetní metody obnovy dopravních prostředků. Ostrava: Repronis Ostrava, 1999. ISBN 80-86122-41-7

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



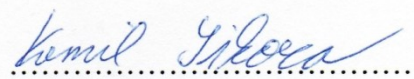
doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

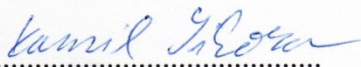
V Ostravě 20.5.2013


.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2013


.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Kamil Sikora

Adresa trvalého pobytu autora práce: Pazderna 20, 73951

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SIKORA, K. Porovnání spolehlivosti spalovacích motorů osobního automobilu: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013, 40s. Vedoucí práce: Ing. Famfulík J., Ph.D.

Cílem bakalářské práce je porovnat spolehlivostní charakteristiky zážehového a vznětového motoru. V úvodní části bakalářské práce jsem provedl technický popis vybraných spalovacích motorů, popis teorie spolehlivosti a popis stochastických metod hodnocení spolehlivosti. S využitím empirických dat, která byla k bakalářské práci poskytnuta, jsem provedl odhad bezporuchovosti, intenzity poruch a hustoty pravděpodobnosti poruch. Pro lepší porovnání spolehlivosti motorů jsem poruchy rozdělil do tří skupin: pevné části motoru, pohyblivé části motoru a příslušenství motoru. V závěru práce jsem uvedl technické a ekonomické zhodnocení daných výsledků.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

SIKORA, K. Comparing the Reliability of Internal combustion Vehicles Engines: a bachelor thesis. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Institute of Transport, 2013, 40 p. Supervisor: Ing. Famfulík J., Ph.D.

The underlying aim of my project is to compare reliability of spark-ignition engine and the compression-ignition engine. In the opening I interpret the technical characteristics of particular combustion engines, theory of their reliability and stochastic methods of reliability evaluation. The following research is based on available empirical data which serve as a base of my estimate of breakdown free engines, the rate of breakdowns and failure probability. In order to enhance the estimate of engine reliability I divide breakdowns into three groups: fixed engine parts, movable parts, and engine accessories. The conclusion provides technical and economical evaluation of the findings.

Obsah

Použité značení	6
Úvod.....	7
1. Technický popis vybraných spalovacích motorů.....	8
1.1. Rozdělení spalovacích motorů osobních automobilů	8
1.1. Čtyřdobý zážehový motor	8
1.1.1. Základní informace	8
1.1.2. Hlavní části	9
1.1.3. Pracovní oběh zážehového motoru	9
1.2. Čtyřdobý vznětový motor	9
1.2.1. Základní informace o motoru	9
1.2.2. Hlavní části	10
1.2.3. Tepelný oběh vznětového motoru.....	10
1.3. Mechanické části a příslušenství spalovacích motorů	10
1.3.1. Pohyblivé části motoru	11
1.3.2. Pevné části motoru	12
1.3.3. Příslušenství motoru	12
2. Stochastické metody hodnocení spolehlivosti	15
2.1. Základní pojmy ve spolehlivosti	15
2.2. Základní charakteristiky náhodných veličin	16
2.3. Postupy určující druh rozdělení náhodné veličiny	17
2.4. Exponenciální rozdělení.....	19
2.5. Weibullovo rozdělení	21
2.6. Odhad parametrů pomocí lineární regrese	23
2.6.1. Odhad parametrů pro exponenciální rozdělení	23
2.6.2. Odhad parametrů pro Weibullovo rozdělení	24
2.7. Test dobré shody (Pearsonův chí-kvadrát test)	25
2.8. Kolmogorovův-Smirnovův test.....	26

3.	Provedení odhadů spolehlivostních charakteristik využitím empirických dat	28
3.1.	Popis dat	28
3.2.	Stanovení typu rozdělení	29
3.3.	Vzorový výpočet odhadů parametrů rozdělení pomocí lineární regrese	31
3.4.	Grafické znázornění $R(l), f(l), \lambda(l)$	32
3.5.	Kolmogorov-Smirnov test pro vypočtené hodnoty	33
3.6.	Porovnání spolehlivostních charakteristik	34
3.6.1.	Příslušenství motoru	34
3.6.2.	Pevné části motoru	35
3.6.3.	Pohyblivé části motoru	37
4.	Technické a ekonomické hodnocení získaných výsledků	39
4.1.	Porovnání výsledků středních hodnot	39
4.2.	Závěr	40
	Použité zdroje	42
	Přílohy	43
	Seznam obrázků a tabulek	48

Použité značení

ČSN zkratka norem (Česká státní norma)

$F(t)$ distribuční funkce [-]

$R(t)$ bezporuchovost [-]

$f(t)$ hustota pravděpodobnosti [-]

T náhodná veličina

t hodnota náhodné veličiny

λ intenzita náhodné veličiny [h^{-1}]

T_s střední hodnota [h]

χ^2 chí kvadrát

R^2 index shody [-]

α hladina významnosti [-]

Γ gama funkce [-]

Úvod

Úkolem spalovacích motorů je uvádět stroje do pohybu. Tento děj se děje vlivem přeměny tepelné energie vzniklé spalováním paliva na mechanickou práci. Spalovací motor vznikl v 19. století, jako snaha mnoha inženýrů nahradit parní motor na základě znalostí základů termodynamiky. Hlavním předmětem experimentování bylo zvolení vhodného paliva. Další problém zkoumání byl zažehnutí paliva ve válci a jeho časté opakování. První nápady zrealizování spalovacího motoru byly v roce 1678. Jednalo se o energii střelného prachu. Prvním vhodným palivem pro spalovací motory byl svítiplyn. Vývoj a další úpravy tohoto motoru trvaly zhruba dalších 70 let. V roce 1860 Francouz Lenoir sestavil spalovací motor na svítiplyn, který už byl prakticky použitelný. Zapalování směsi paliva bylo vyřešeno Ruhmkorffovým induktorem. O 18 let později představil Nikolaus Otto vylepšený typ tohoto motoru, který měl už čtyřdobý chod. Další různé změny spalovacích motorů se objevily v polovině 19. století, kdy se pro spalování začaly používat těžké a lehké frakce ropy. Vznikl benzinový motor čtyřdobý (Němec Daimler), později dvoudobý (Angličan Clark). Motor na těžké frakce ropy se objevil v letech 1893 až 1897 ve Strojárně v Ausbergu podle původního návrhu Rudolfa Diesla. Motory, které používáme dnes, už ale pracují na smíšeném principu. U tohoto principu roste po vznícení objem i tlak spalín. [1]

Jedna z hlavních vlastností spalovacího motoru je jeho spolehlivost. Spolehlivost motoru je pravděpodobnost, s jakou bude motor v provozu bez poruchy za daných podmínek a po danou dobu. Tato vlastnost je ovlivňována velkým počtem různých činitelů. Vliv těchto činitelů můžeme zjistit pouze metodami teorie pravděpodobnosti. V angličtině se označuje pojem spolehlivost slovem Reliability.

V úvodní pasáži práce rozeberu vybrané spalovací motory, které se nyní používají v osobních automobilech, jejich základní informace, hlavní části, popisy spalování a jejich příslušenství. Seznámím čtenáře se základními metodami výpočtu spolehlivosti a s parametry hodnocení, objevujícími se při těchto výpočtech. V druhé části se budu zabývat porovnáním spolehlivosti těchto motorů na základě empirických dat, které mi byla poskytnuta z daných podniků zabývajících se servisem osobních automobilů.

1. Technický popis vybraných spalovacích motorů

1.1. Rozdělení spalovacích motorů osobních automobilů

S postupem času se zrodilo mnoho různých druhů pístových spalovacích motorů. Rozdělení těchto motorů udává norma ČSN 09 0022 a ČSN 30 0025. Většinou je ale dělíme podle těchto hlavních hledisek: [3]

- druh paliva
- způsob tvoření hořlavé směsi
- způsob výměny náplně válců
- průběh spalování
- konstrukční provedení
- účel a použití motoru.
- Další dělení:

Po sloučení několika hlavních hledisek (druh paliva, tvoření směsi, zapalování, průběh spalování) se motory rozdělují do dvou hlavních skupin:

- Zážehové motory
- Vznětové motory

Další dvě hlavní skupiny rozdělení jsou upraveny podle výměny náplně ve válci, jsou to motory:

- Dvoudobé
- Čtyřdobé

1.1. Čtyřdobý zážehový motor

1.1.1. Základní informace

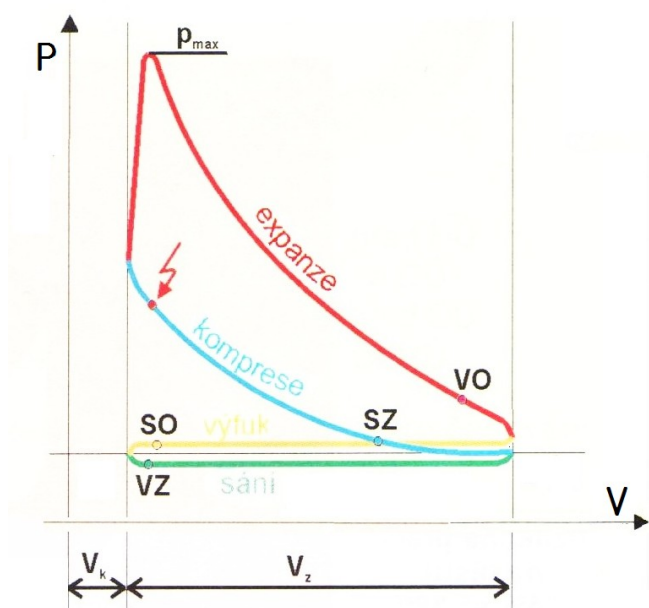
Tyto motory jsou nazývané benzinové nebo Ottovy motory. Druh paliva používané v těchto motorech je převážně benzín, po úpravě však mohou pracovat také na alkohol nebo plyn (např. LPG). Směs paliva ve válci je zážehnuta elektrickou jiskrou (hlavní rozdíl oproti vznětovému motoru), musí tedy být vybaven zapalovacím systémem. Celý pracovní cyklus proběhne během čtyř zdvihů pístu. Motor pracuje s menšími kompresními tlaky. Nejvyšší výkony dosahuje ve vysokých otáčkách a oproti dieselovému motoru má značně tišší chod. [1]

1.1.2. Hlavní části

Motor se skládá z několika konstrukčních skupin. Mezi tyto konstrukční skupiny patří: pevné části motoru, pohyblivé části motoru a příslušenství motoru, které se skládá ze zapalovacího systému, palivového systému, mazání motoru, chlazení motoru a výfukového potrubí. [1]

1.1.3. Pracovní oběh zážehového motoru

Rozdíl mezi spalovacím motorem zážehovým a vznětovým je v jejich pracovním oběhu. Pracovní oběh je děj, který popisuje změnu stavových veličin a změnu pracovní náplně motoru v závislosti na poloze pístu. Zobrazuje se pomocí P-V diagramu. [1]



Obr. 1.1. Tepelný oběh zážehového motoru [1]

SO – Sací ventil otevřen, SZ – Sací ventil zavřen, VO – výfukový ventil otevřen, VZ – výfukový ventil zavřen, V_k – kompresní objem, V_z – zdvihový objem.

1.2. Čtyřdobý vznětový motor

1.2.1. Základní informace o motoru

Jako palivo používají naftu. Největším rozdílem mezi motorem vznětovým a zážehovým je v přípravě zápalné směsi. U vznětového motoru se nasává do pracovního prostoru válce jen čistý vzduch. Po jeho stlačení se do válce vstříkuje nafta a dojde k samovznícení vlivem kompresního tepla. Kvůli tomuto způsobu zapalování musí být vznětový motor vybaven zařízením pro spouštění studeného motoru. Motor má pevnější

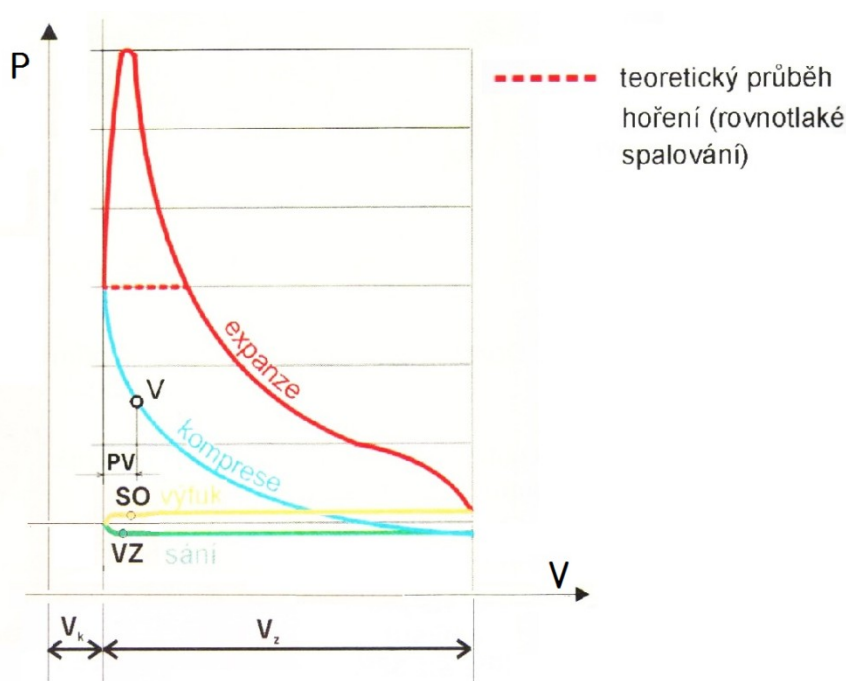
konstrukci a podstatně větší kompresní poměr než motor zážehový. Motory jsou nazývány naftové nebo také podle svého zakladatele Rudolfa Diesela – Dieselové. Nevýhodou těchto motorů je vyšší cena, avšak uváděno, že kompenzovaná nižšími provozními náklady. [1]

1.2.2. Hlavní části

Skládá se z téměř stejných částí jako motor zážehový. Pevné části motoru, pohyblivé části motoru a příslušenství motoru. Příslušenství se skládá z mazání a chlazení motoru, výfukového potrubí, palivového systému a navíc oproti motoru zážehovému o zařízení pro startování studeného motoru. [1]

1.2.3. Tepelný oběh vznětového motoru

Vznětový motor pracuje s vyššími kompresními tlaky. Tento rozdíl je viditelný v P-V diagramu.



Obr. 1.2. Tepelný oběh vznětového motoru [1]

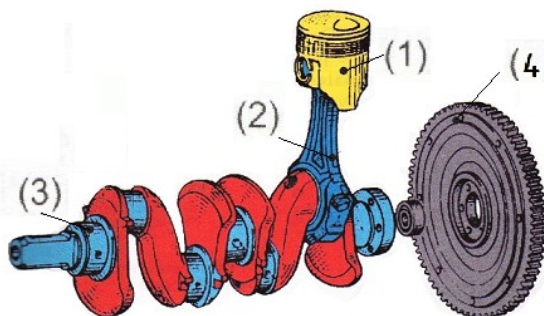
SO – Sací ventil otevřen, SZ – Sací ventil zavřen, VO – výfukový ventil otevřen, VZ – výfukový ventil zavřen, V_k – kompresní objem, V_z – zdvihový objem. V – počátek vstříku, PV – předstih vstříku (předstřík).

1.3. Mechanické části a příslušenství spalovacích motorů

Tři hlavní části, z kterých se pístové spalovací motory skládají, jsou pevné (nepohyblivé) části motoru, pohyblivé části motoru a příslušenství motoru. [2]

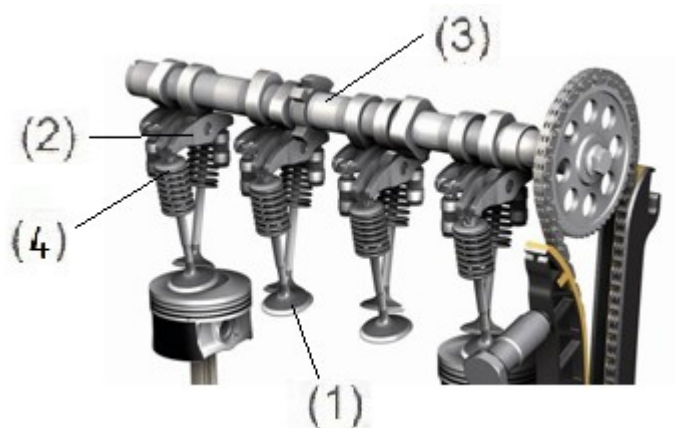
1.3.1. Pohyblivé části motoru

Základem této konstrukční skupiny je klikový mechanismus a rozvod motoru. Úkolem klikového mechanismu je měnit přímočarý vratný pohyb (píst) na pohyb rotační (klikový hřídel). Hlavní části klikového mechanismu jsou píst s pístními kroužky a pístním čepem, klikový hřídel a ojnice. Píst (1) je jedna z nejvíce namáhaných částí spalovacího motoru. Mění tlakovou energii spálených plynů na mechanickou práci. Odolává vysokým tlakům, velkému tepelnému namáhání a velkým mechanickým rázům při překlápění v dolní a horní úvratí. Plášť pístu je namáhán třením. Ojnice (2) spojuje píst s klikovým hřídelem a přenáší síly z čepu pístu na kliku klikového hřídele. Je namáhána tahem a tlakem a velkými setrvačnými silami. Patří mezi nejvíce namáhané části motoru. Klikový hřídel mění posuvný pohyb (ojnice) na točivý a ten je využit pro pohon vozidla. Je namáhán na ohyb a krut. Vyrábí se jako výkovek s následným obrobením. Jejím součástí je setrvačník (4). [2]



Obr. 1.3. Klikový mechanismus spalovacího motoru [1]

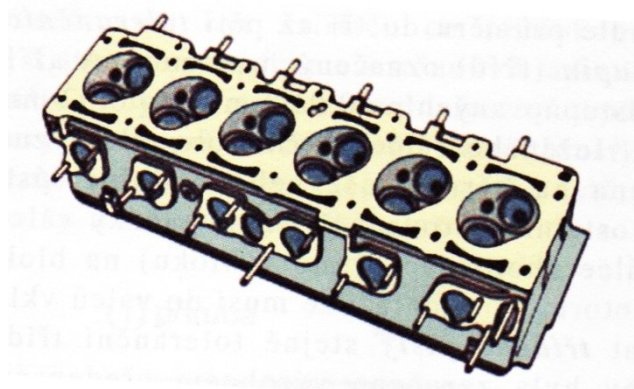
Rozvod motoru řídí plnění válců (u zážehových motorů směsí a u motoru vznětových vzduchem) a odvod zplodin co nejrychleji pryč z prostoru válce. U čtyřdobých zážehových motorů se nejčastěji objevují ventilové rozvody SV, OHC, OHV. Ventilové rozvody podléhají existenci posuvných hmot, jsou citlivé na vysoké otáčky. Hlavními částmi ventilových rozvodů jsou ventily (1), vahadla ventilů (2), vačkový hřídel (3), zdvihátka ventilů (4). [2]



Obr. 1.4. Ventilový rozvod OHC [6]

1.3.2. Pevné části motoru

Mezi pevné části spalovacího motoru patří blok válců s klikovou skříní, hlava válců, víka a kryty. Blok válců je primární nosná část motoru, do níž se montují jednotlivé válce. Další nosná část motoru je kliková skříň. V klikové skříní se nachází klikový hřídel a vačkový hřídel (rozvody SV, OHV). Hlava válců je součást, která tvoří horní víko pracovního prostoru. Mezi blokem válců a hlavou válců je umístěno těsnění hlavy. V hlavě válců motorů se nachází části ventilového rozvodu a u zážehových motorů také zapalovací svíčka. Hlava válců je namáhána velkými teplotami a tlaky. Další částí je víko motoru, které je určeno k utěsnění klikové skříně a bloku válců, spodní víko (olejová vana), boční víka, kryty a těsnění. [2]



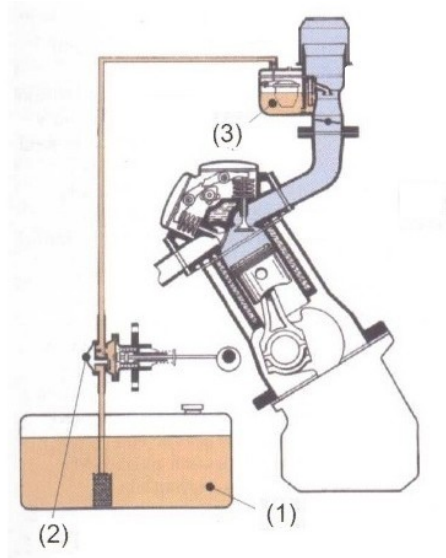
Obr. 1.5. Hlava válců [1]

1.3.3. Příslušenství motoru

Příslušenství motorů se skládá z palivové soustavy, mazací soustavy, chladicího systému, zapalovací soustavy, výfukového systému a elektrické soustavy.

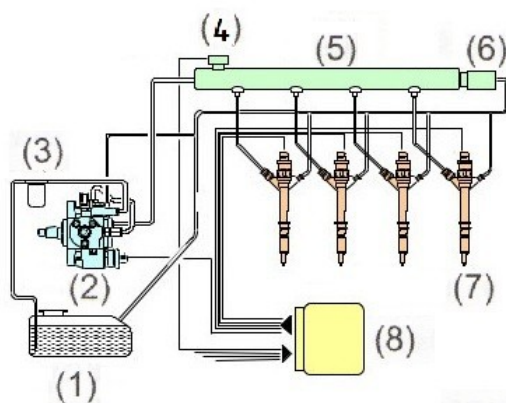
1.3.3.1. Palivová soustava čtyřdobých motorů

Zásadním úkolem palivové soustavy je dostat palivo do spalovacího motoru. Rozdíl mezi palivovou soustavou zážehového a vznětového motoru je, že u zážehového motoru musí být zápalná směs připravena, zatímco u vznětového pracuje s palivem nasátým z palivové nádrže. U zážehových motorů je primární částí palivové soustavy karburátor nebo vstřikovací zařízení (3), které připravuje zápalnou směs. Tato směs je pak vstřikována buď do sacího potrubí, nebo přímo do válce motoru. Další části palivové soustavy jsou: Palivová nádrž (1), dopravní čerpadlo (2), které dopravuje palivo do plovákové komory, nebo k vstřikovacímu zařízení, palivový čistič. [8]



Obr. 1.6. Schéma palivové soustavy zážehového motoru [7]

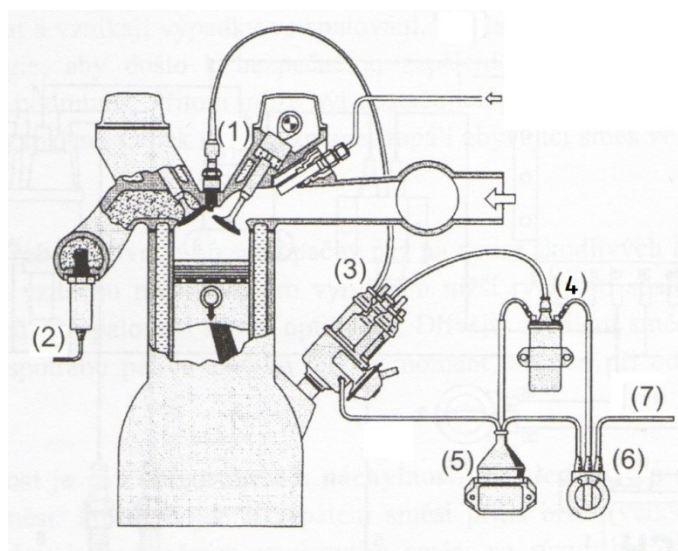
Palivová soustava vznětového motoru se rozděluje na dva okruhy, nízkotlaký a vysokotlaký. Nízkotlaký okruh dopravuje palivo z palivové nádrže přes čističe k vstřikovacímu čerpadlu. Vysokotlaká část pak zajišťuje tlak, pod kterým vstřikujeme palivo do válce. Hlavní části palivové soustavy jsou: Palivová nádrž (1), čerpadlo pro podávání paliva (2), čistič paliva (jemný, hrubý) (3), snímač tlaku (4), zásobník paliva (5), vstřikovač, omezovač tlaku (6), vstřikovací trysky (7), řídící jednotka (8). [8]



Obr. 1.7. Schéma palivové soustavy vznětového motoru (common rail) [9]

1.3.3.2. Zapalovací soustava čtyřdobých motorů

Zapalovací soustava se objevuje pouze u zážehových motorů, kde musí být zápalná směs ve válci motoru zapálena.



Obr. 1.8. Schéma zapalovací soustavy zážehového motoru [2]

Soustava je složena ze zapalovací svíčky (1), lambda sondy (2), rozdělovače (u novějších nahrazen rozdělovač elektronickým zapalováním (3), zapalovací cívky (4), řídicí jednotky (5), spínací skřínky (6) a kabelů pro vysoké napětí (7).

2. Stochastické metody hodnocení spolehlivosti

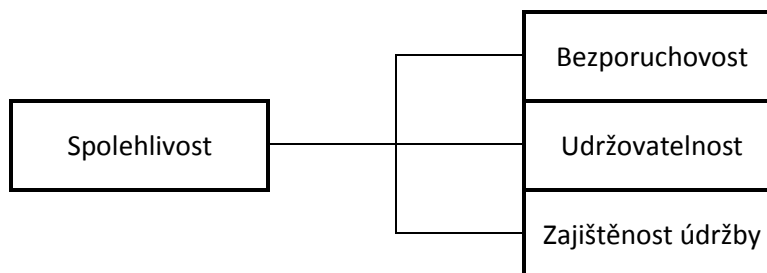
Pojem spolehlivost používáme od 40. let 20. století. Spolehlivost je vlastnost výrobku v anglickém jazyce známá pod pojmem reliability. Tři nejdůležitější faktory ovlivňující spolehlivost jsou bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby. Spolehlivost lze označit i jako jakostní vlastnost. [4]

Stochastické metody – metody, u kterých nelze předvídat výsledek, ten je zjistitelný jen pomocí statistických výpočtů s využitím náhodné veličiny. Tyto metody jsou nutnou součástí zkoušek spolehlivosti. Zkoušky spolehlivosti určují vlastnosti jako bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby, pohotovost, životnost. Tyto vlastnosti určíme na základě vybrání vhodného typu rozdělení náhodné veličiny. Velkým problémem zkoušek spolehlivosti je rozšířený názor, že vlivem malého počtu vstupních údajů je velmi malá úroveň věrohodnosti výsledku zkoušky. Ovšem věrohodnost zkoušky si určíme na začátku našeho bádání většinou podle podmínek doprovázející zkoušení a je jen na nás, jak tento výsledek potom akceptujeme. [4]

Při zpracovávání zkoušek spolehlivosti je důležité správné zpracování vstupních údajů (rozdělení údajů na ty, které jsou pro nás důležité a ty, které nemají pro zkoušku význam a nebudou do zkoušky zařazeny). Četnost údajů se může s přibývajícím časem zvětšovat. Rizikem zkoušek je, že mezi testovanými objekty se náhodně objeví jen ty „nejpovedenější“ a výsledek spolehlivosti bude pak lepší než by byl výsledek testování průměrných objektů. Naopak můžeme pozorovat jen „nejslabší“ a výsledek zkoušek pak bude slabší než u průměrných objektů. [4]

2.1. Základní pojmy ve spolehlivosti

Spolehlivost – Dle normy ČSN IEC 50 191 je spolehlivost termín shrnující tři hlavní faktory, které ji ovlivňují (Bezporuchovost, zajištěnost údržby, udržitelnost) [5]



Obr. 2.1. Schéma rozdělení spolehlivosti [Zdroj: Autor]

Bezporuchovost - Vlastnost objektu nepřetržitě fungovat předepsanou funkcí za daných podmínek a po daný čas. Hodnotí, zda jev poruchy nastal nebo nenastal. [5]

Udržovatelnost - Vlastnost objektu setrvat nebo se vrátit do stavu, kdy plní svou požadovanou funkci. [5]

Zajištěnost údržby - Schopnost organizace, která se zabývá údržbou, zajistit údržbu podle požadavku a podle daných podmínek. Střední doba logistického zabezpečení údržby. [5]

2.2. Základní charakteristiky náhodných veličin

Náhodnou veličinou považujeme proměnnou, jejíž hodnota vznikne jako výsledek náhodného jevu (v našem případě jev vzniku poruchy). Je formulována typem rozdělení a danými parametry tohoto rozdělení. Výskyt jevů je zpravidla posuzován v závislosti na čase, v jiných situacích může být posuzován například v závislosti na kilometrickém proběhu. Náhodnou veličinu dělíme na spojitou a diskrétní. Spojitá je specifická tím, že náhodný sledovaný jev může nastat v jakémkoliv čase. U diskrétní náhodné veličiny se jevy vyskytují pouze v čase daném. [4] Použité vzorce převzaty ze skript [4].

Distribuční funkce náhodné veličiny $F(t)$ je formulována jako pravděpodobnost, že náhodná veličina T získá hodnotu stejnou nebo menší než hodnota t . Hodnoty distribuční funkce jsou z intervalu $\langle 0,1 \rangle$.

$$F(t) = (T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(t)dt \quad [-] \quad (2.1)$$

t – hodnota náhodné veličiny T ,

$f(t)$ – hustota pravděpodobnosti.

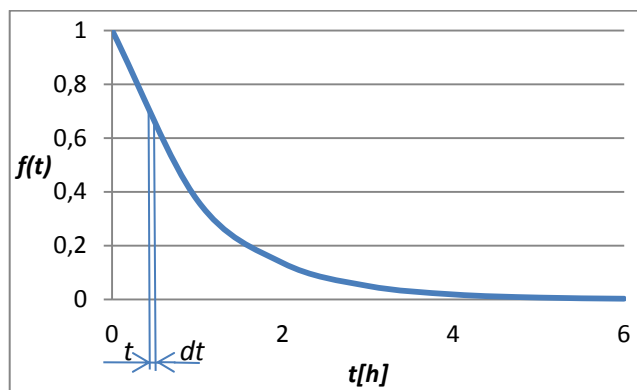
Protiklad distribuční funkce je pravděpodobnost $R(t)$, to je pravděpodobnost, že náhodná veličina získá hodnotu vyšší než t .

$$R(t) = (T > t) = \int_t^{+\infty} f(t)dt \quad [-] \quad (2.2)$$

Hustota pravděpodobnosti náhodné veličiny $f(t)$ je dána funkcí:

$$f(t)dt = P(t \leq T \leq t + dt) \quad [-] \quad (2.3)$$

Pravděpodobnost, že náhodná veličina T získá hodnotu z intervalu dt , který je nekonečně malý. $f(t)$ je vždy kladná. U diskrétní veličiny by byla označena $p(x_i)$.



Obr. 2.2. Průběh hustoty pravděpodobnosti spojitě náhodné veličiny [Zdroj: Autor]

Intenzita náhodné veličiny $\lambda(t)$ ukazuje podmíněnou pravděpodobnost, že daný jev vznikne v nekonečně malém intervalu dt . Musí však podléhat podmínce, že do momentu t ještě nenastal.

$$\lambda = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad [h^{-1}] \quad (2.4)$$

Sřední hodnotu, nazývanou také střední doba do poruchy nebo střední doba poruchy, definujeme jako střední hodnotu náhodné veličiny t . Nejpoužívanější vyjádření je:

$$T_s = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad [h] \quad (2.5)$$

2.3. Postupy určující druh rozdělení náhodné veličiny

Vhodnou metodou pro zjištění typu rozdělení náhodné veličiny je sestavení histogramu četností. Histogram je znázornění rozdělení absolutních nebo relativních četností spojitěho znaku sloupcovým grafem, přičemž výška vyjadřuje četnost sledovaného úkazu (absolutní nebo relativní) a šířka dané rozpětí dat. Postup použit ze skript [5].

Sestavení histogramu:

Pravidla pro sestavení histogramu:

- Šířka třídy musí být vždy stejná,
- hustota pravděpodobnosti má pouze jeden vrchol,
- Počet sloupců musí být větší než 3 a menší než 15,
- v histogramu nesmí vznikat propady a tzv. sedla.

Určení šířky třídy:

Vztah převzat ze skript [5]

$$\Delta T = \frac{t_{max} - t_{min}}{1 + 3,3 \cdot \log N} \quad [h] \quad (2.6)$$

t_{max} – maximální doba fungování do poruchy,

t_{min} – nejmenší doba fungování do poruchy.

N – počet poruch

Posléze vypočteme relativní a kumulativně relativní četnost podle vzorců:

Relativní četnost:

$$X_i = \frac{r_i}{n} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad [-] \quad (2.7)$$

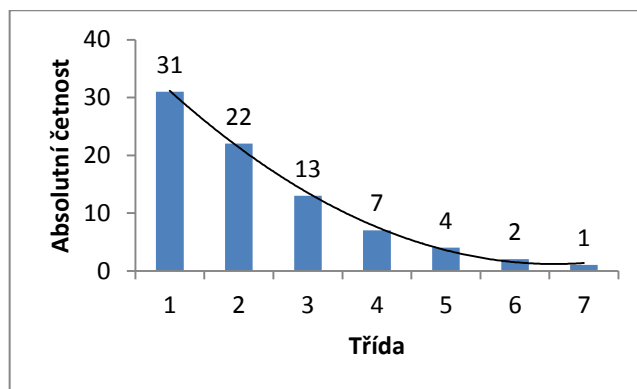
Relativně kumulativní četnost:

$$C_i = \sum_{j=1}^i x_j \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad [-] \quad (2.8)$$

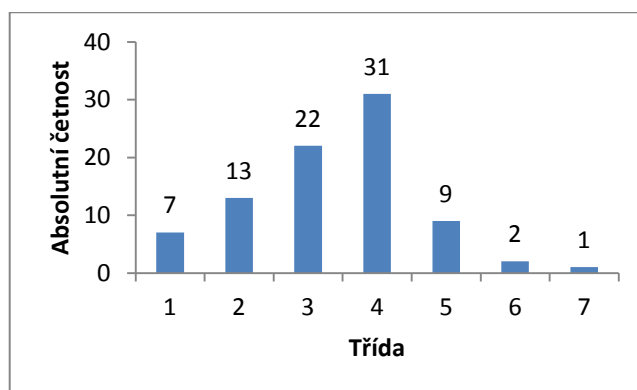
r_i – absolutní četnost jevů patřící do dané třídy,

i – číslo pořádní třídy,

n – souhrnný počet tříd.



Obr. 2.3. Histogram absolutní četnosti typický pro exponenciální rozdělení [Zdroj: Autor]



Obr. 2.4. Histogram absolutní četnosti typický pro Weibullovo rozdělení [Zdroj: Autor]

Z průběhu histogramu četnosti a podle znalostí průběhu zvolíme typ rozdělení. To pak využijeme při dalších výpočtech (nejčastěji exponenciální nebo Weibullovo rozdělení).

2.4. Exponenciální rozdělení

Exponenciální rozdělení se používá k zjištění času, do vzniku daného úkazu (např. stavu nefunkčnosti). Toto rozdělení je dobře použitelné pro objekty, u kterých se stav nefunkčnosti objeví neočekávaně, bez nějakých náznaků např. elektronika. U objektu s tímto rozdělením nemá preventivní výměna smysl. [4]

Parametr hodnocení u exponenciálního rozdělení je intenzita náhodného jevu λ . Ta musí být kladná konstantní a vypočítáme ji vzorcem: Vzorce převzaty ze skript [4].

$$\lambda = \frac{1}{T_s} = konst \quad [h^{-1}] \quad (2.9)$$

kde T_s je střední hodnota:

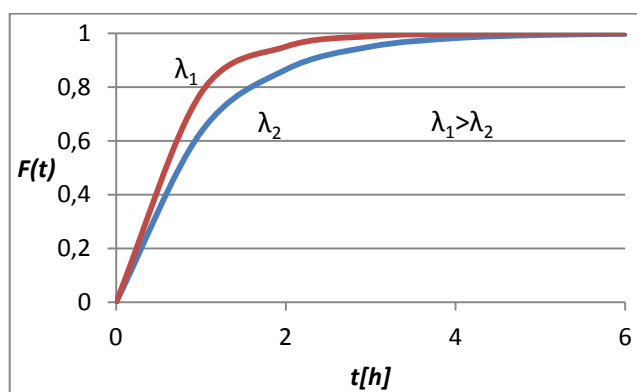
$$T_s = \frac{T_{aku}}{n} \quad [h] \quad (2.10)$$

T_{aku} – akumulovaná hodnota (celková doba testování)
 n – počet testovaných objektů.

Distribuční funkce $F(t)$ vyjádřená vzorcem:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad [-] \quad (2.11)$$

t – doba, pro kterou chceme vypočítat distribuční funkci.



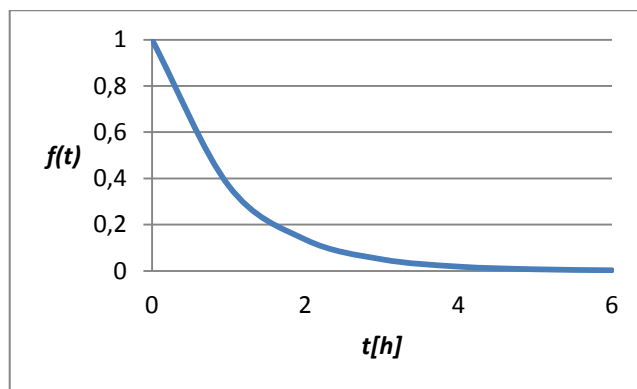
Obr. 2.5. Průběh distribuční funkce pro různé číselné hodnoty λ [Zdroj: Autor]

Hustota pravděpodobnosti $f(t)$ u tohoto rozdělení napodobuje exponenciální funkci. Vyjádříme ji vzorcem:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

$$f(t) = -e^{-\lambda \cdot t} \cdot (-\lambda)$$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad [-] \quad (2.12)$$



Obr. 2.6. Průběh hustoty pravděpodobnosti [Zdroj: Autor]

Bezporuchovost $R(t)$ vyjádříme vztahem:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda \cdot t}) = e^{-\lambda \cdot t} \quad [-] \quad (2.13)$$

Intenzita poruch pro exponenciální rozdělení je dána vztahem:

$$\lambda(t) = \lambda = konst. \quad [-] \quad (2.14)$$

2.5. Weibullovo rozdělení

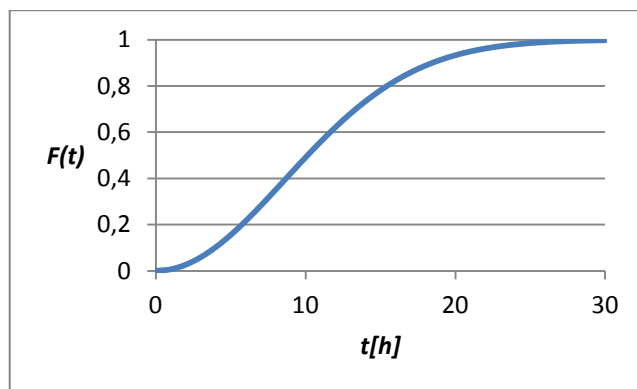
Používá se u objektů, které jsou závislé na odpracované době, nebo na délce stáří. Weibullovo rozdělení nám pomáhá při odhalení hodnot bezporuchovosti, které jsou nezbytné k prognóze životnosti objektu. [4]

Parametry rozdělení jsou parametr tvaru m , parametr měřítka t_0 , parametr přílohy c . Při použití všech tří parametrů hovoříme o tříparametrickém Weibullově rozdělení. Pokud však parametr přílohy bude roven nule, tak vznikne dvouparametrické Weibullovo rozdělení. [4] Vzorce převzaty ze skript [4].

Distribuční funkci pak vyjádříme:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad [-] \quad (2.15)$$

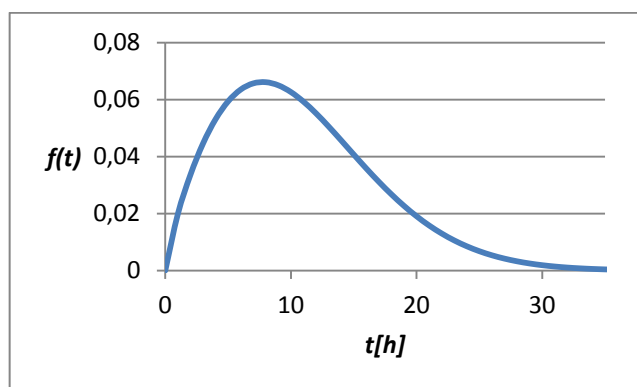
t - hodnota náhodné veličiny



Obr. 2.7. Průběh distribuční funkce Weibullova rozdělení [Zdroj: Autor]

Hustotu pravděpodobnosti $f(t)$ vyjádříme vzorcem:

$$f(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad [-] \quad (2.16)$$



Obr. 2.8. Hustota pravděpodobnosti Weibullova rozdělení [Zdroj: Autor]

Pravděpodobnost nefunkčnosti $R(t)$ vyjádříme vzorcem:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad [-] \quad (2.17)$$

Intenzitu náhodného jevu $\lambda(t)$ vyjádříme:

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \quad [h^{-1}] \quad (2.18)$$

Střední hodnota T_s :

$$T_s = t_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad [h] \quad (2.19)$$

Kde: Γ je gama funkce (tabelovaná).

Pro zjištění hodnot parametrů m , t_0 a q musíme vycházet z rovnice lineární regrese (viz. bod 2.6.):

2.6. Odhad parametrů pomocí lineární regrese

Lineární regrese je přiblížení našich dat (hodnot) přímkou pomocí metody nejmenších čtverců. To znamená, že hodnoty, které jsme umístili do grafu, proložíme přímkou tak, aby odchylka jednotlivých bodů od přímky byla co nejmenší. Důležitým prvkem je přijatelnost vzniklého vzoru, která je udávána indexem determinace R^2 , ten bývá v rozmezí od 0 do 1. Čím více se blíží index k 1, tím je vzor věrohodnější, čím více se blíží k 0, tím víc je nevhodný. [10]

2.6.1. Odhad parametrů pro exponenciální rozdělení

Pomocí metody trendů, odhadneme parametry rozdělení. Metoda spočívá v tom, že tvar distribuční funkce (2.11) změníme na lineární tvar.

Po úpravách vzorce (2.11) získáme tvar:

$$-\ln(1 - F(t)) = \lambda \cdot t \quad (2.20)$$

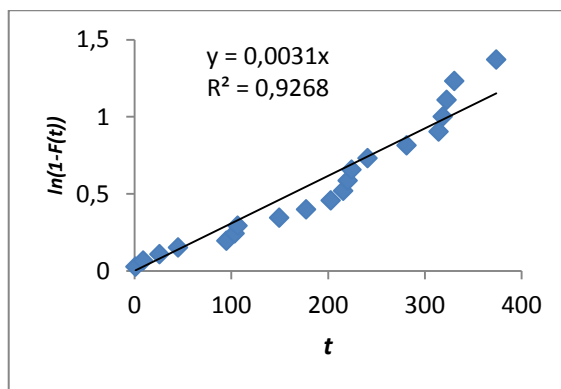
$$\text{Rovnice přímky: } y = k \cdot x + q \quad (2.21)$$

Rovnici přímky (2.21) použijeme pro substituci vztahu (2.20)

$$y = -\ln(1 - F(t))$$

$$k \cdot x = \lambda \cdot t$$

$$q = 0$$



Obr. 2.9. Stanovení parametru rovnice přímky [Zdroj: Autor]

Z grafu (Obr. 2.9.) vyjádříme parametry rozdělení

Parametr tvaru m : $y = 0,003x \rightarrow \lambda = 0,003$

R^2 – Index shody, ten nabývá hodnot z intervalu $<0,1>$. Abychom ho mohli uznat za správný, musí mít hodnotu větší než 0,9. Pokud je hodnota menší tak rozdělení nebylo vhodně zvoleno a musíme vybrat rozdělení jiné.

2.6.2. Odhad parametrů pro Weibullovo rozdělení

Provádíme stejně jako u Exponenciálního rozdělení. Tvar distribuční funkce (2.15) změníme na lineární tvar.

Po úpravách vzorce (2.15) získáme tvar:

$$\ln[-\ln(1 - F(t))] = m \cdot \ln t - m \cdot \ln t_0 \quad (2.22)$$

Rovnici přímky (2.21) použijeme pro substituci vztahu (2.22)

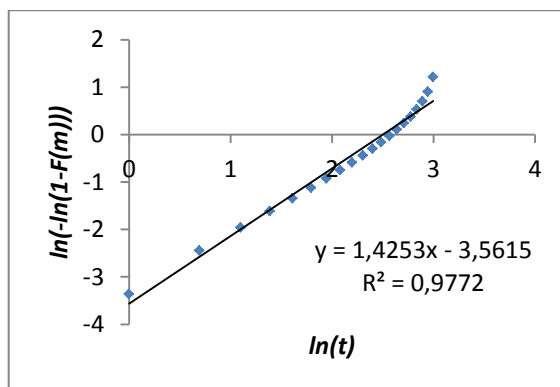
$$y = \ln[-\ln(1 - F(t))]$$

$$k \cdot x = m \cdot \ln t$$

$$q = -m \cdot \ln t_0 \rightarrow t_0 = \exp\left(\frac{-q}{m}\right)$$

Odhad mediánového pořadí:

$$F_i(t) = \frac{n_i - 0,3}{N + 0,4} \quad [-] \quad (2.23)$$



Obr. 2.10. Stanovení parametru rovnice přímky [Zdroj: Autor]

Parametr tvaru m : $y = 1,425x \rightarrow m = 1,425$

Parametr měřítka t_0 : $t_0 = \exp(-q/m) \rightarrow q = 3,561$

2.7. Test dobré shody (Pearsonův chí-kvadrát test)

χ^2 rozdělení je široce uplatnitelným důležitým spojitým rozdělením, které používáme pro určování, zda množina dat vyhovuje dané distribuční funkci. Test dobré shody je metoda, kterou si ověříme správnost, že naše empirická data prochází z určitého rozdělení náhodné veličiny. Princip tohoto testu je v tom, že náhodou veličinu transformujeme na veličinu, která má přibližné rozdělení χ^2 . [11]

Postup: [11]

- Soubor všech náhodných veličin rozdělíme na k nepřekrývajících se částí
- Vypočteme pravděpodobnost p_i , že náhodná veličina nabude hodnoty z i -té části. To provedeme pro každý interval.
- Provedeme N pokusů a zjistíme, kolikrát z těchto pokusů nabyla náhodná veličina ze 1,2,..., k -té části. Tyto množství nazveme X_1, X_2, \dots, X_k .
- Porovnáme skutečné četnosti (X_i) s četnostmi očekávanými pro jednotlivé části (Np_i).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(X_i - Np_i)^2}{Np_i} \quad [-] \quad (2.24)$$

- Pokud jsme naši náhodné veličině přiřadili vhodné rozdělení, tak náhodná veličina χ^2 má přibližné rozdělení chí-kvadrát. Bylo-li rozdělení udáno se všemi parametry tak je počet stupňů volnosti $k-1$. Pokud byl některý z parametrů neurčený, zmenšuje

se počet stupňů volnosti (parametr by musel být určen z dat a pak by musela být vypočtena pravděpodobnost p_i).

Hodnotu χ^2 porovnáme s kritickou hodnotou daného rozdělení na požadované hladině významnosti α . Test je použitelný jen když všechny hodnoty Np_i jsou aspoň 5.

Hladina významnosti – určené pravděpodobnostní chyba prvního druhu, kterou si zvolíme během testování. Nejčastěji 0,05, 0,01 nebo 0,001.

2.8. Kolmogorovův-Smirnovův test

Autory tohoto testu jsou Andrej Nikolajevič Kolmogorov a Vladimir Ivanovič Smirnov. Test dobré shody podle Kolmogorov-Smirnova využíváme k zjištění správnosti určení typu rozdělení náhodné veličiny vzhledem k teoretickému rozdělení, tzv. test pro jeden výběr.

Rozdílem od χ^2 -testu dobré shody je, že Kolmogorov-Smirnov test pracuje přímo s naměřenými hodnotami náhodné veličiny a ne s hodnotami, které jsou podle četnosti rozděleny do tříd. Test je nejčastěji využíván pro spojitě rozdělení náhodné veličiny a můžeme jej využít i při malém množství vstupních údajů. [12]

V tomto testu ověřujeme nulovou hypotézu, pro kterou rozdělení náhodné veličiny X je popsáno distribuční funkcí $F_0(x)$. Pro takovou hypotézu musí existovat opačná Alternativní hypotéza, jejíž rozdělení náhodné veličiny X vyjádřeno jinou distribuční funkcí $F_0(x)$. [12]

Postup: [12]

- Pomocí výběrové distribuční funkce $F_n(x)$ popíšeme rozdělení testované náhodné veličiny. Jedná se o odhad skutečného rozdělení náhodné veličiny.

$$F_n(x) = 0, \text{ pro } x < x_1 \quad (2.25)$$

$$F_n(x) = \frac{1}{n}, \text{ pro } x_1 < x < x_{i+1} \text{ kde } i = 1, 2 \dots n-1 \quad (2.26)$$

$$F_n(x) = 1, \text{ pro } x \geq x_n \quad (2.27)$$

Hodnoty $x_1 \dots$ až x_n jsou hodnoty náhodného výběru, které jsou uspořádány vzestupně.

- Výsledné hodnoty distribučních funkce $F_n(x)$ bylo třeba porovnat s hodnotami distribuční funkce teoretického rozdělení $F_0(x)$. Porovnání bylo provedeno podle vzorce:

$$D_n = \sup |F_0(x) - F_n(x)| = \max(D_1^*, D_2^*, \dots, D_n^*) \quad (2.28)$$

$$D_1^* = \sup |F_0(x) - F_n(x)| = \left\{ \left| \frac{1}{n} - F_0(x) \right|; \left| \frac{i-1}{n} - F_0(x) \right| \right\} \quad (2.29)$$

$$i = 1, 2 \dots n.$$

$$D_n = \max(D_1^*, D_2^*, \dots, D_n^*), \text{ kde } D_1^* = \max \left\{ \left| \frac{1}{n} - F_0(x) \right|; \left| \frac{i-1}{n} - F_0(x) \right| \right\} \quad (2.30)$$

Na základě vypočtených hodnot můžeme zjistit platnost nulové hypotézy. Nulovou hypotézu zamítáme jestliže $D_n \geq D_\alpha$. D_α je tabulovaná hodnota.

3. Provedení odhadů spolehlivostních charakteristik využitím empirických dat

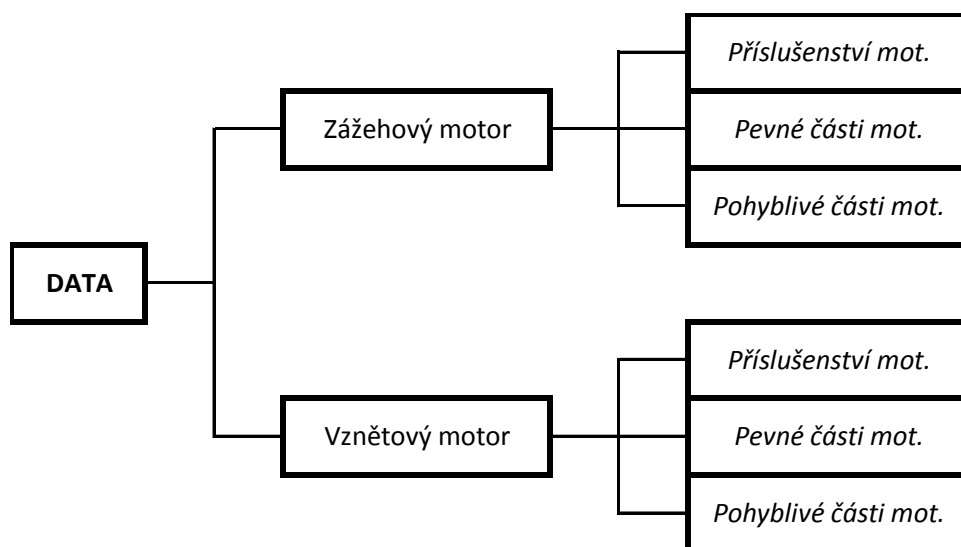
3.1. Popis dat

Empirická data k bakalářské práci mi byla poskytnuta z podniku AutoKufel, což je pobočka sítě BOSCH Car Service. Byla shromažďována za rok 2012 a část roku 2013. Nalezneme zde poruchy motorů průměrných automobilů téměř všech značek. Nejstarší vůz je z roku 1992 a nejmladší z roku 2011 (Celkem 215 poruch). U těchto dat předpokládáme, že se jedná o první poruchy motoru. Tabulka (3.1), do které byly poruchy zapisovány, obsahuje údaje jako značka vozidla, rok výroby, typ motoru, kilometrický proběh motoru a jednoduchý popis opravy.

Tab. 3.1. Tabulka záznamu poruch

Značka	Model	Motor	Typ	Rok výroby	Stav tachometru	Typ poruchy
Fiat	Brava	Zážehový	1.6 16v	1997	175 121	Prasklá hlava motoru
Citroen	Berlingo	Zážehový	1.3	2005	113 464	Nové ventily
Hyundai	Matrix	Vznětový	1.5 TDI	2008	115 400	Oprava vstřikovacích trysek
Opel	Vectra	Zážehový	1.8	1998	215 589	Výměna pístních kroužků
Renault	Kangoo	Zážehový	1.6 16v	2002	180 714	Výměna vstřikovače
Škoda	Fabia	Zážehový	1.4 Mpi	2000	260 895	Výměna vstřikovacích trysek
.
.
.

Data jsem musel pro další použití rozdělit do skupin a dále pak odstranit ty, které by byla pro můj pokus bezvýznamná, například vyloučení poruch částí, které se v zážehovém a vznětovém motoru neliší. Rozdělil jsem je do dvou hlavních skupin (zážehový a vznětový) a pro každou hlavní skupinu do tří podskupin: příslušenství motoru, pevné části motoru, pohyblivé části motoru (Obr. 3.1.)



Obr. 3.1. Schéma rozdělení dat [Zdroj: Autor]

3.2. Stanovení typu rozdělení

Číselné vyjádření pro skupinu poruch příslušenství zážehového motoru

Poruchy ze skupiny jsem přepsal do tabulky (Tab. 3.2), seřadil je vzestupně a přidělil číslo pořadí poruchy.

Tab. 3.2. Tabulka hodnot kilometrického proběhu do poruchy

Číslo poruchy	Kilometrický proběh [$1 \cdot 10^3 \text{ km}$]
1	74
2	84
3	84
4	95
.	.
.	.
.	.
38	311
39	330

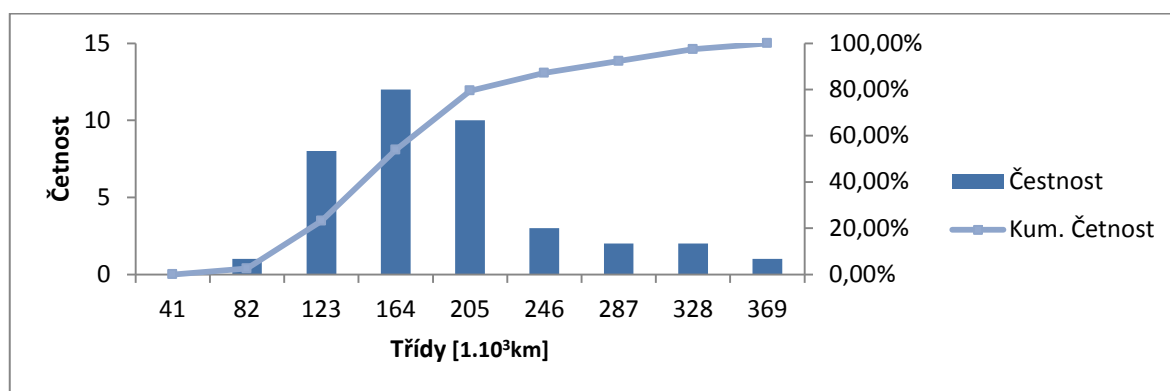
Podle vzorce (2.6) jsem vypočetl šířku třídy:

$$\Delta T = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 3,3 \cdot \log N} = \frac{330 - 74}{1 + 3,3 \cdot \log 39} = 41 \cdot 10^3 \text{ km}$$

V programu Excel pomocí funkce Histogram, byly poruchy (Tab. 3.2) zařazeny do příslušné třídy a byly vyjádřeny četnosti (Tab. 3.3).

Tab. 3.3. Tabulka četností poruch pro sestavení histogramu

n_i	<i>Třídy</i>	<i>Četnost</i>	<i>Kumul. %</i>
1	41	0	0,00%
2	82	1	2,56%
3	123	8	23,08%
4	164	12	53,85%
5	205	10	79,49%
6	246	3	87,18%
7	287	2	92,31%
8	328	2	97,44%
9	369	1	100,00%

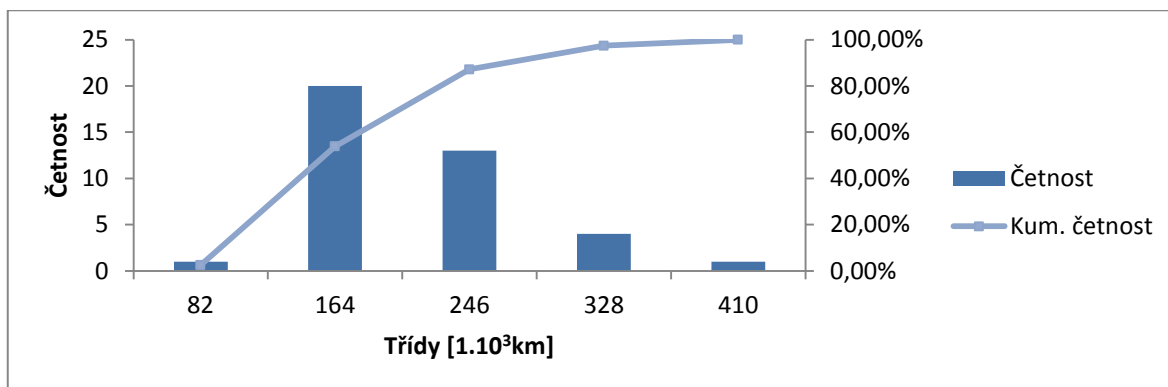


Obr. 3.2. Histogram četností poruch pohyblivých částí vznětového motoru [Zdroj: Autor]

Tento histogram (Obr. 3.2.) však nevyhovuje pravidlům sestavení histogramu, bylo nutné jej upravit. Pro upravení jsem provedl změnu šířky třídy tak, že původní hodnotu hranice třídy jsem vynásobil dvěma. Poruchy byly v programu Excel pomocí funkce Histogram zařazeny do jednotlivých tříd a byly jim vyjádřeny četnosti (Tab. 3.4).

Tab. 3.4. Tabulka četností poruch pro sestavení histogramu po úpravě šířky třídy

n_i	<i>Třídy</i>	<i>Četnost</i>	<i>Kumul. %</i>
1	82	1	2,56%
2	164	20	53,85%
3	246	13	87,18%
4	328	4	97,44%
5	410	1	100,00%



Obr. 3.3. Histogram četností poruch pohyblivých částí vznětového motoru po úpravě
[Zdroj: Autor]

Z takto upraveného histogramu (obr. 3.3.) je zjistitelný typ rozdělení náhodné veličiny. Tento histogram je typický pro Weibullovo rozdělení.

3.3. Vzorový výpočet odhadů parametrů rozdělení pomocí lineární regrese

Výpočet pro skupinu poruch příslušnosti zážehového motoru

1. řádek – Výpočet pro hodnotu 74 [1.10³km]. Výpočet podle vzorce (2.23).

$$F_1(t) = \frac{n_1 - 0,3}{N + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{39 + 0,4} = 0,017766$$

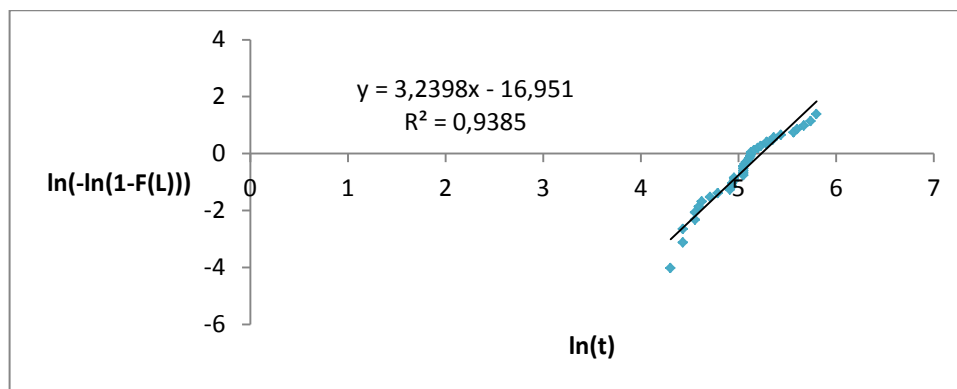
$$y_1 = \ln[-\ln(1 - F_1(t))] = \ln[-\ln(1 - 0,017766)] = -4,021491042$$

$$x_1 = \ln t = \ln(74) = 4,304065$$

Tab. 3.5. Tabulka hodnot pro sestavení grafu lineární regrese

č. poruchy	l	ln(l)	F(l)	ln(-ln(1-F(l)))
1	74	4,304065	0,017766	-4,021491042
2	84	4,430817	0,043147	-3,121165758
3	84	4,430817	0,068528	-2,645229481
4	95	4,553877	0,093909	-2,316530606
.
.
.
38	311	5,739793	0,956853	1,145221526
39	330	5,799093	0,982234	1,39387574

Podle sestavené tabulky (Tab. 3.5) si necháme pomocí Excelu vykreslit graf.



Obr. 3.4. Parametry rovnice přímky [Zdroj: Autor]

Z grafu (Obr. 3.4.) můžeme vyčíst, že index shody R^2 splnil podmínku. $0,938 > 0,9$. To znamená že Weibullovo rozdělení dobře popisuje vybraná data.

Parametr měřítka:

$$m: y = 3,239x \rightarrow m = 3,239$$

Parametr tvaru:

$$q = -m \cdot \ln t_0 \rightarrow t_0 = \exp\left(\frac{-q}{m}\right) = \exp\left(\frac{-16,95}{3,239}\right) = 187,95 \cdot 10^3 km$$

Střední kilometrický proběh:

$$T_s = t_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)$$

V programu Excel:

$$T_s = t_0 \cdot EXP\left(\ln\left(GAMMA\left(1 + \frac{1}{m}\right)\right)\right) = 168,44 \cdot 10^3 km$$

Shrnutí:

Parametry Weibullova rozdělení odhadnuta pomocí lineární regrese jsou parametr měřítka $m=3,239$ a parametr tvaru $t_0=187,95$. Zaokrouhlená střední doba do poruchy $T_s=168.10^3 km$.

3.4. Grafické znázornění $R(l)$, $f(l)$, $\lambda(l)$

Výpočet pro skupinu poruch příslušenství zážehového motoru

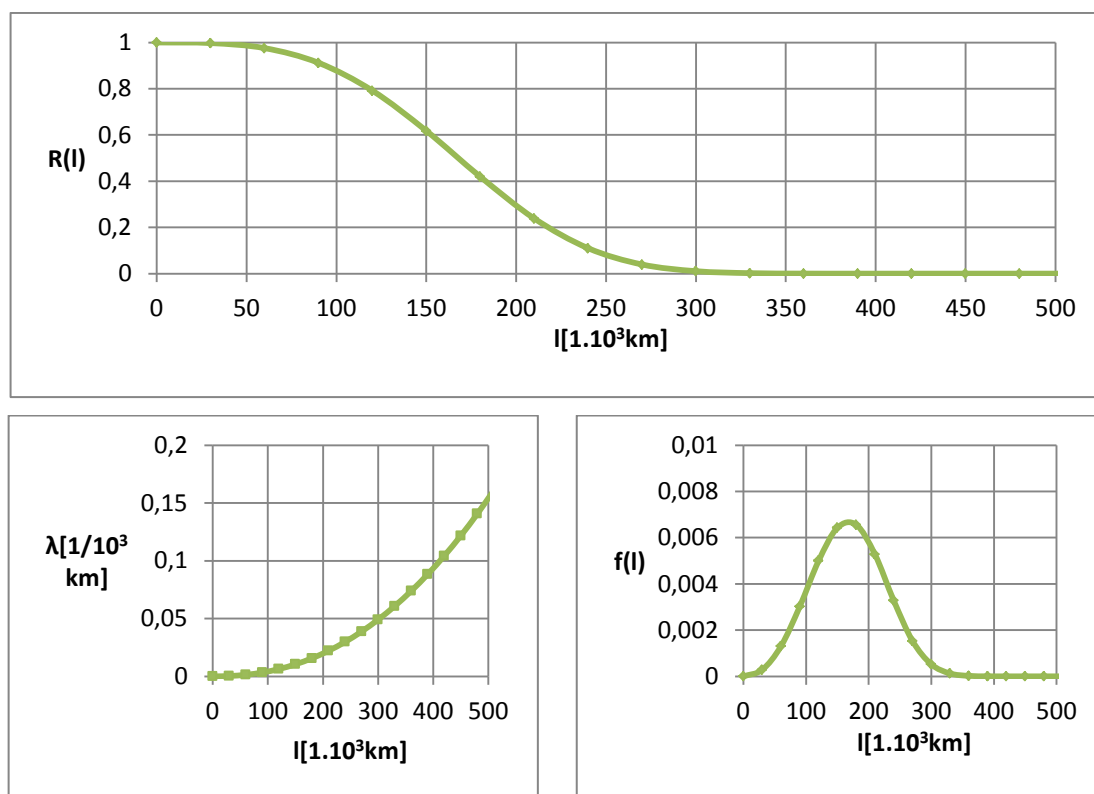
Z předchozího bodu známe parametry rozdělení: $m=3,239$ a $t_0=187,95$.

Pomocí vzorců (2.17, 2.15, 2.18) můžeme nyní pro každou hodnotu l vyjádřit $R(l)$, $f(l)$, $\lambda(l)$ (Tab. 3.6.).

Tab. 3.6. Poruchy příslušenství zážehového motoru

$l(\text{tkm})$	$f(l)$	$F(l)$	$R(l)$	λ
0	0	0	1	0
30	0,000282	0,002619	0,997381	0,000283
60	0,001304	0,024459	0,975541	0,001337
90	0,003022	0,087966	0,912034	0,003314
.
.
.
390	2,12E-06	0,999976	2,4E-05	0,088343
420	1,4E-07	1	1,34E-06	0,104287

Pro zobrazení charakteristik použijeme hodnoty z tabulky 3.6.



Obr. 3.5. Grafické znázornění bezporuchovosti, intenzity a hustoty pravděpodobnosti poruch [Zdroj: Autor]

3.5.Kolmogorov-Smirnov test pro vypočtené hodnoty

Výpočet pro skupinu poruch příslušenství zážehového motoru

Ověřujeme, zda data pochází ze stanoveného typu rozdělení. Potřebné hodnoty výpočtu jsou uvedeny v tabulce (3.6).

Tab. 3.7. Hodnoty potřebné pro stanovení Kolmogorovova Smirnova testu

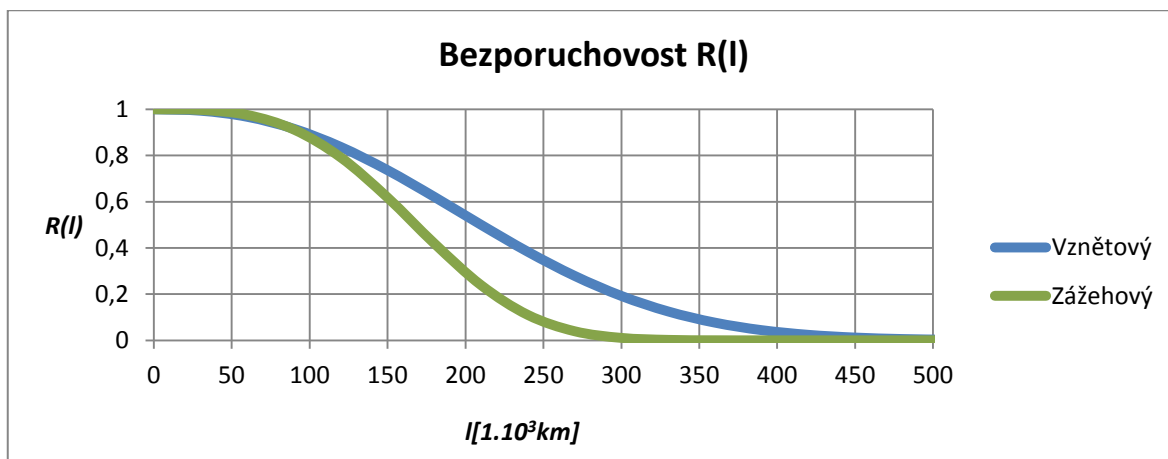
Pořadí (i)	Seřazená data $x_{(i)}$	i/n	$(i-1)/n$	$F(x)$	$ F(x)-(i-1)/n $	$ F(x)-(i/n) $	D_i^*
1	74	0,025641	0	0,04767	0,04766988	0,022028854	0,0256410256
2	84	0,051282	0,025641	0,070993	0,045351704	0,019710678	0,0256410256
3	84	0,076923	0,051282	0,070993	0,019710678	0,005930348	0,0137803304
4	95	0,102564	0,076923	0,103898	0,026975291	0,001334266	0,0256410256
.
.
.
36	271	0,923077	0,897436	0,962052	0,064616413	0,038975388	0,0256410256
37	290	0,948718	0,923077	0,982999	0,059922106	0,03428108	0,0256410256
38	311	0,974359	0,948718	0,993964	0,045245655	0,019604629	0,0256410256
39	330	1	0,974359	0,997954	0,023595332	0,002045694	0,0215496385

Maximální hodnota odečtena z tabulky (Tab. 3.6) je $D^*=0,0256410256$, kritická hodnota jedno-výběrového testu pro $\alpha=0,005$ je $D_{15}(0,05)=0,213$, to znamená, že pozorovaná hodnota nepřekročila kritickou hodnotu Kolmogorovova Smirnovova testu pro hladinu významnosti 0,05. Proto nezamítáme nulovou hypotézu na hladině významnosti 0,05. Výběr dat můžeme tedy považovat za výběr z Weibullova rozdělení

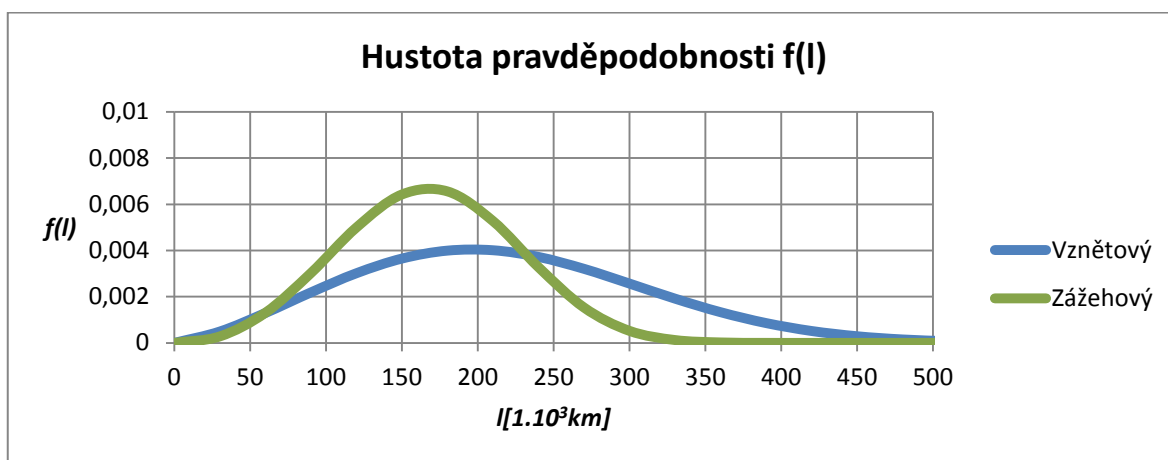
3.6. Porovnání spolehlivostních charakteristik

3.6.1. Příslušenství motoru

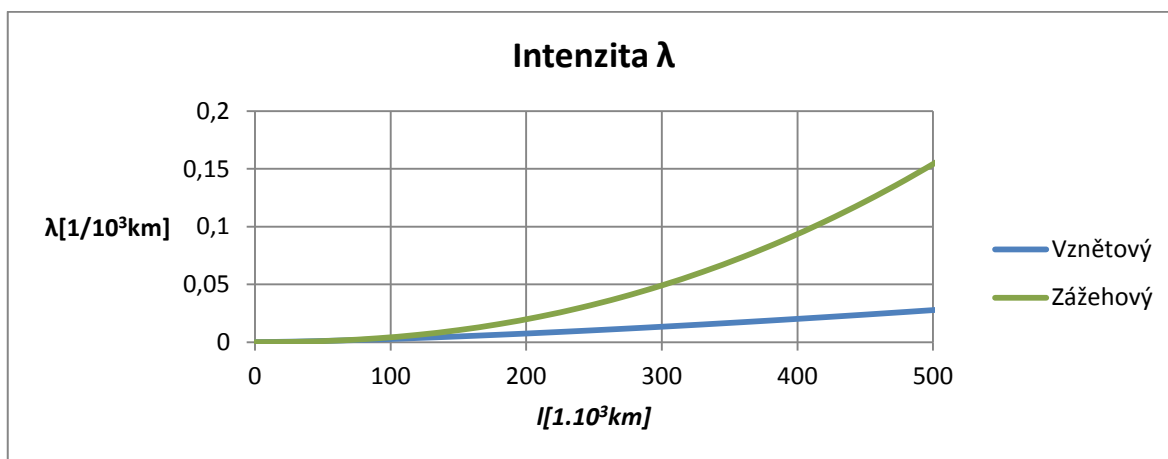
Zajištěné data o poruchách obou typu motoru se přibližují Weibullovu rozdělení. Poruchy se týkaly příslušenství, které se u zážehového a vznětového motoru liší. Byly zde zahrnuty poruchy palivové soustavy, zapalování, zařízení pro startování studeného motoru. Ze zobrazených charakteristik lze vyčíst, že vznětový motor disponuje větší bezporuchovostí a má menší intenzitu poruch. Hustota pravděpodobnosti dosahuje u zážehového motoru největší hodnoty zhruba $0,007$ v kilometrickém proběhu 150 až $200 \cdot 10^3$ km. U vznětového motoru je největší hodnota hustoty pravděpodobnosti asi $0,004$ v rozmezí 150 až $250 \cdot 10^3$ km.



Obr. 3.6. Bezporuchovost příslušenství motoru [Zdroj: Autor]



Obr. 3.7. Hustota pravděpodobnosti poruch příslušenství motoru [Zdroj: Autor]

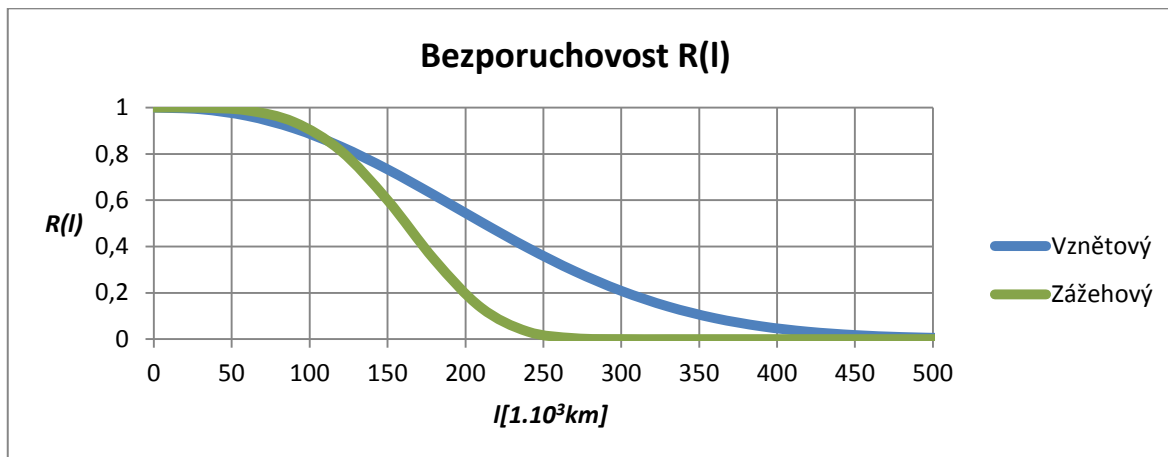


Obr. 3.8. Intenzita poruch příslušenství motoru [Zdroj: Autor]

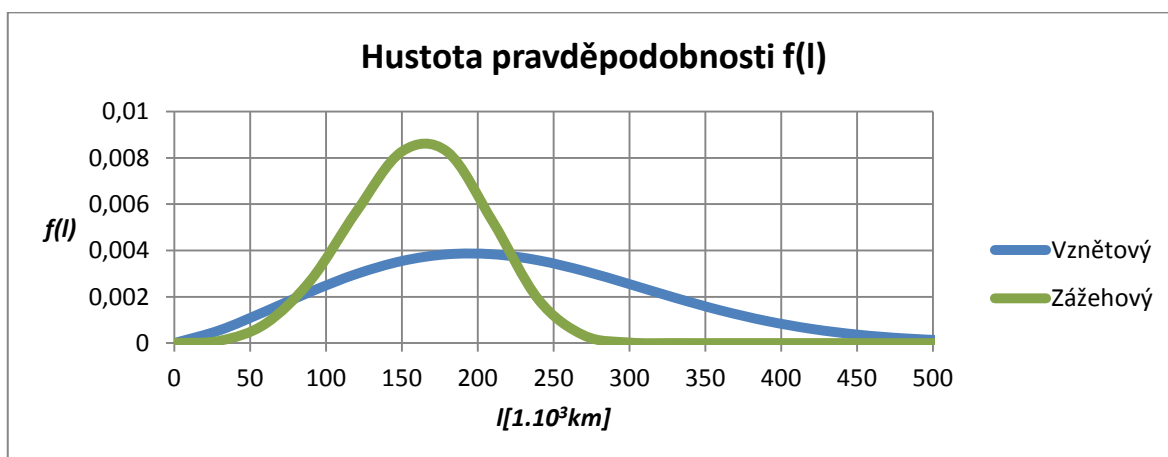
3.6.2. Pevné části motoru

Z vykreslených grafů, lze vypožorovat, že intenzita poruch i hustota pravděpodobnosti je hodně odlišná. Vznětový motor opět disponuje větší bezporuchovostí. Křivka bezporuchovosti vznětového motoru se podobá exponenciálním rozdělení. Největší hustota pravděpodobnosti poruch u zážehového motoru je okolo $170.10^3 km$ a její hodnota je

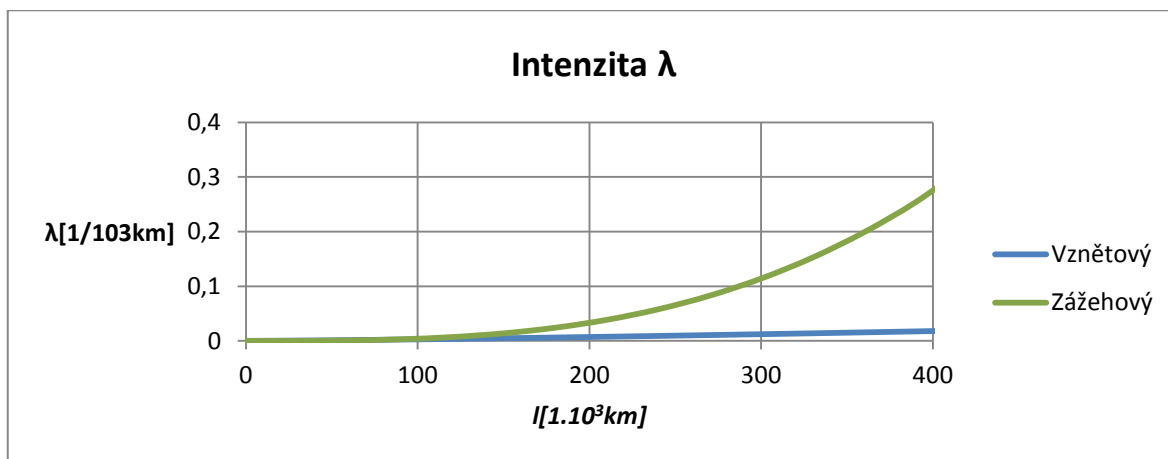
zhruba dvojnásobně vyšší než u motoru vznětového. U motoru vznětového není hustota ne tak intenzivní, ale pokrývá větší část kilometrického proběhu (150-250.10³km). Intenzita poruch je u zážehového motoru větší. Do poruch pevných částí motoru jsou zahrnuty opravy bloku motoru, hlavy válců, válce, klikové skříně.



Obr. 3.9. Bezporuchovost pevných částí motoru [Zdroj: Autor]



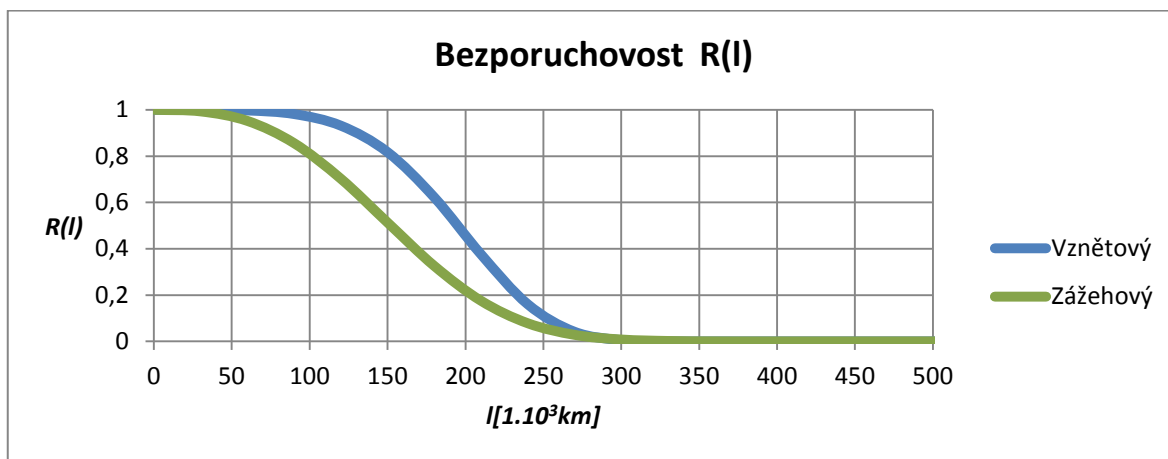
Obr. 3.10. Hustota pravděpodobnosti poruch pevných částí motoru [Zdroj: Autor]



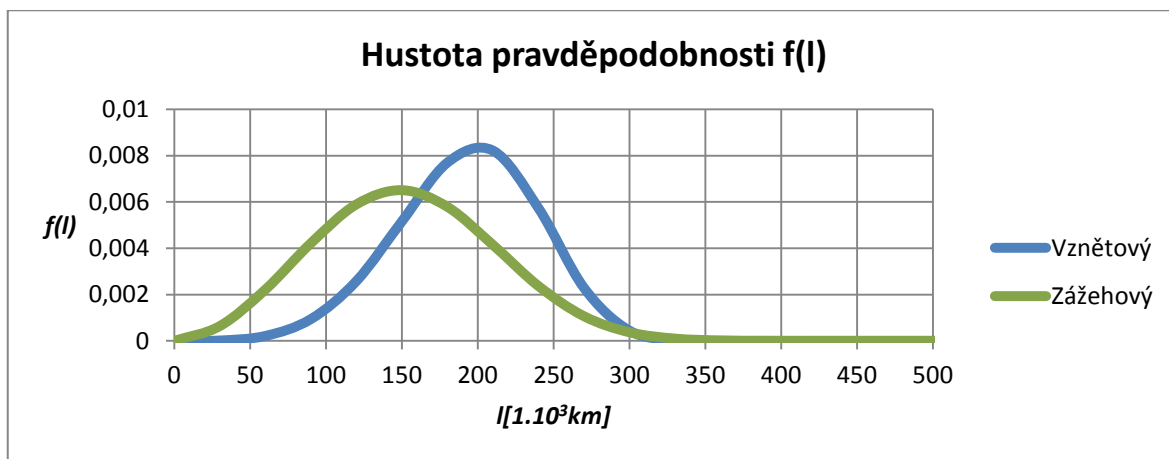
Obr. 3.11. Intenzita poruch pevných částí motoru [Zdroj: Autor]

3.6.3. Pohyblivé části motoru

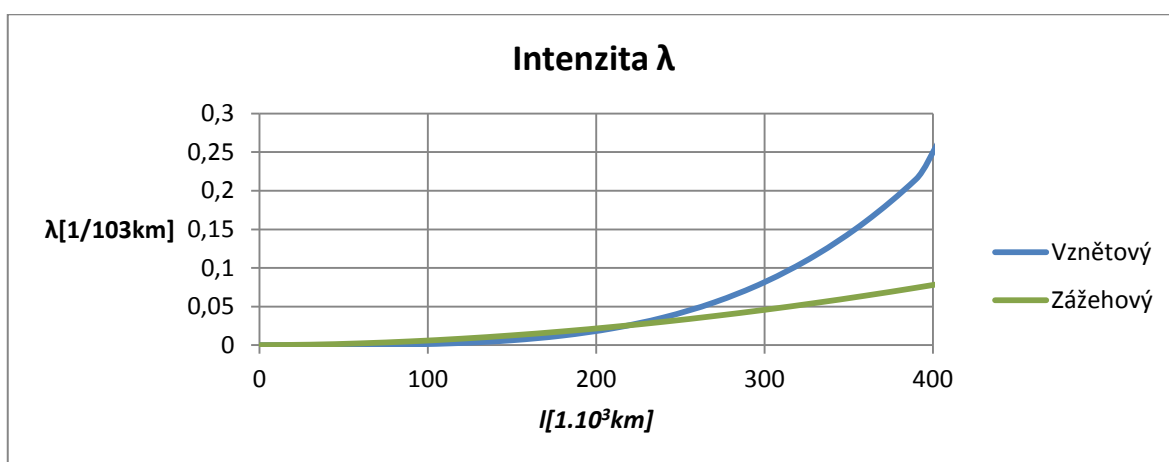
Z vykreslených charakteristik můžeme vidět, že zážehový motor se dostane do poruchy dříve než motor vznětový. Největší hustota pravděpodobnosti poruch je u zážehového motoru při $150.10^3 km$ a u motoru vznětového asi při $200.10^3 km$. Intenzita poruch je velmi podobná, rozdíl přichází až po $250.10^3 km$, kdy se hodnoty vznětového motoru oproti motoru zážehovému zvýší. Mezi poruchy pohyblivých částí motoru byly zahrnuty poruchy ventilových rozvodů, poruchy pístu s pístními kroužky a pístním čepem, poruchy klikového mechanismu.



Obr. 3.12. Bezporuchovost pohyblivých částí motoru [Zdroj: Autor]



Obr. 3.13. Hustota pravděpodobnosti poruch pohyblivých částí motoru [Zdroj: Autor]



Obr. 3.14. Intenzita poruch pohyblivých částí motoru [Zdroj: Autor]

Střední doby do poruchy pro všechny výše zobrazené charakteristiky, jsou shrnuta v tabulce (Tab. 3.8), kde najdeme také typ rozdělení a parametry rozdělení.

Tab. 3.8. Střední doby do poruchy pro všechny skupiny poruch

SKUPINY	Zážehový motor			Vznětový motor		
	Typ rozdělení	Parametry rozdělení	Ts[1.10³km]	Typ rozdělení	Parametry rozdělení	Ts[1.10³km]
Příslušenství motoru	W2p	m=3,239 t ₀ =187,952	168,439	W2p	m=2,43 t ₀ =244,189	216,522
Pevné části motoru	W2p	m=4,049 t ₀ =177,077	160,615	W2p	m=2,337 t ₀ =247,483	219,293
Pohyblivé části motoru	W2p	m=2,851 t ₀ =172,877	154,046	W2p	m=4,692 t ₀ =210,959	192,983

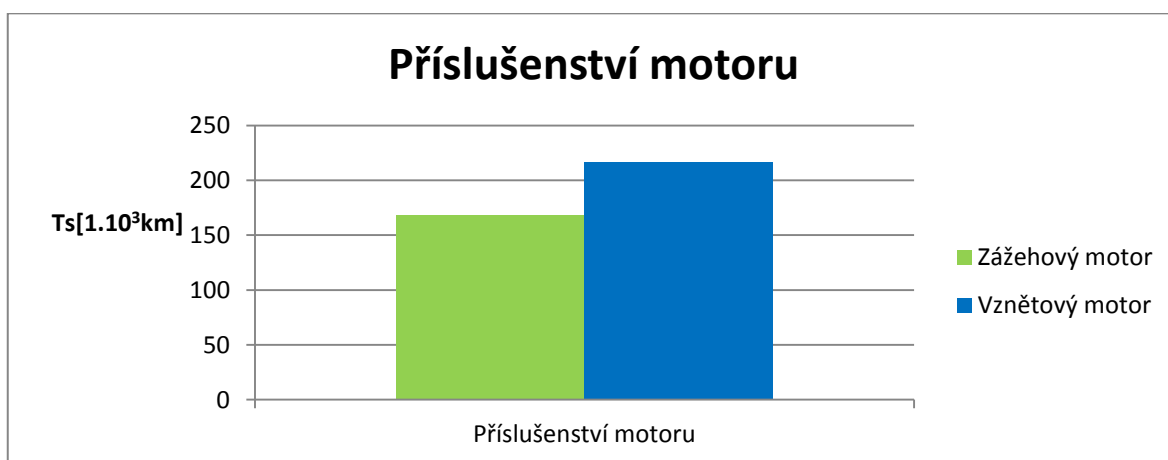
4. Technické a ekonomické hodnocení získaných výsledků

V následujícím bodu bakalářské práce jsem provedl porovnání získaných výsledků.

4.1. Porovnání výsledků středních hodnot

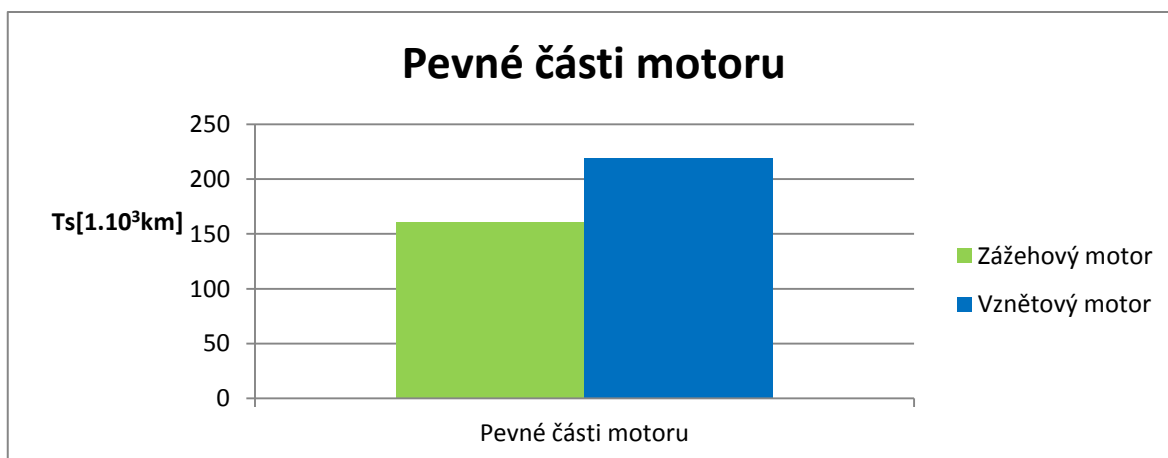
Z vypočtených středních dob do poruchy jsem zjistil, že ve všech třech případech má vznětový motor větší střední dobu do poruchy. Můžeme jej pokládat za spolehlivější. Pro přehlednější porovnání středních hodnot byla data vložena do grafu, kde je jasné, že vznětový motor má spolehlivější příslušenství, pevné části a pohyblivé části motoru.

Střední doba do poruchy příslušenství zážehového motoru je $168 \cdot 10^3 \text{ km}$ a u motoru vznětového $217 \cdot 10^3 \text{ km}$.



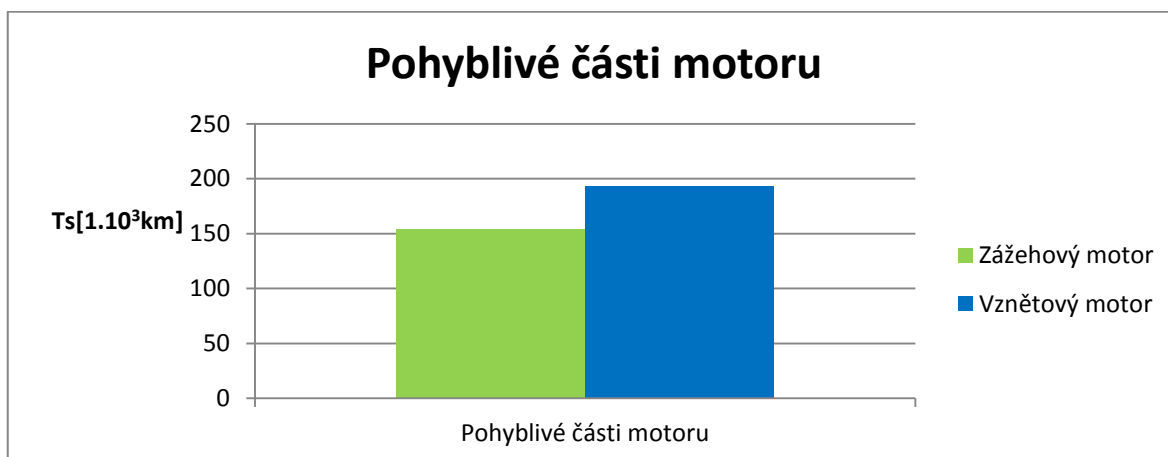
Obr. 3.15. Porovnání střední doby do poruchy příslušenství motoru [Zdroj: Autor]

Střední doba do poruchy pevných částí motoru je $161 \cdot 10^3 \text{ km}$ a u motoru vznětového $219 \cdot 10^3 \text{ km}$.



Obr. 3.16. Porovnání střední doby do poruchy pevných částí motoru [Zdroj: Autor]

Střední doba do poruchy pevných částí motoru je $154 \cdot 10^3 \text{ km}$ a u motoru vznětového $193 \cdot 10^3 \text{ km}$.



Obr. 3.17. Porovnání střední doby do poruchy pohyblivých částí motoru [Zdroj: Autor]

4.2. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem na základě empirických dat vytvořil spolehlivostní charakteristiky zážehového a vznětového motoru a ty následně porovnal. U poskytnutých dat jsem předpokládal, že se jedná o první poruchy motoru, skutečnost však může být jiná a skutečné výsledky by se mohly od mých výsledků lišit.

Pro lepší porovnání spolehlivosti jsem poruchy rozdělil do šesti skupin. Ze všech mých vypočtených výsledků a vyhotovených charakteristik jsem zjistil, že vznětový motor se jeví jako spolehlivější ve všech konstrukčních skupinách (příslušenství motoru, pevné části motoru, pohyblivé části motoru). Zjištěná data se ve všech případech přibližovaly Weibullovu rozdělení.

Nízká spolehlivost příslušenství zážehového motoru je zřejmě způsobena větším množstvím částí. Mnoho poruch zde tvořily poruchy zapalovacího systému a ten se vyskytuje pouze u zážehového motoru. U této konstrukční skupiny tedy lepší spolehlivostí prosperoval motor vznětový.

Poruchy konstrukční skupiny pevné části motoru se v obou případech týkaly nejčastěji hlavy motoru, nebo jejího těsnění. U zážehového motoru se však vyskytovaly ve větším množství, téměř dvojnásobném. To je nejspíše způsobeno, že vznětový motor pracuje s většími kompresními tlaky a proto jsou pevné části tohoto motoru robustnější než u

motoru zážehového a zřejmě i více vydrží. I v této konstrukční skupině se tedy vznětový motor projevil jako spolehlivější.

Poruchy pohyblivých částí byly u obou motorů podobné, nejčastěji se jednalo o poruchy rozvodného mechanismu. Počet poruch byl u obou motorů také podobný. U vznětového motoru se však tyto poruchy objevovaly až po větším kilometrickém proběhu a to ovlivnilo spolehlivost vznětového motoru a větší střední dobu do poruchy.

Mojí prací jsem si potvrdil známou rozšířenou informaci, že vznětový motor má sice větší pořizovací náklady, ale ty jsou kompenzovány větší spolehlivostí a tím pádem menšími provozními náklady.

Použité zdroje

- [1] JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B.: *Automobily – motory*. Brno, 2008, ISBN 978-80-87143-06-3
- [2] VLK, F.: *Vozidlové spalovací motory*, Brno 2003, ISBN 80-238-8756-4
- [3] ČSN 30 0025. *Základní automobilové názvosloví. Základní části a ústrojí vozidel, příslušenství, výstroj a výbava. Definice základních pojmů.*
- [4] FAMFULÍK, J., KRZYŽANEK, R., GALVAS, P.: *Zkoušky spolehlivosti*, Ostrava 2010, ISBN 978-80-248-2277-8
- [5] FAMFULÍK, J., MÍKOVÁ, J., KRZYŽANEK, R.: *Teorie údržby*, Ostrava 2007, ISBN 978-80-248-1509-1

Internetové stránky:

- [6] Ventilový rozvod OHC. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://i.idnes.cz/12/112/cl6/FDV3103f4_DB2009AU008_86_medium.jpg?v=2
- [7] Palivová soustava zážehového motoru. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://mecmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo201_palivovasoustavazazehovychmotoru.pdf
- [8] Palivová soustava vznětového motoru. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://autoelektrika.netstranky.cz/palivova-soustava-vz.html>
- [9] Systém common rail. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z <http://cs.autolexicon.net/articles/common-rail/>
- [10] Lineární regrese. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Line%C3%A1rn%C3%AD_regrese
- [11] Test dobré shody. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/nTest_dobr%C3%A9_shody
- [12] Kolmogorov Smirnov. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://vojtech.myslivec.net/sites/default/files/ctu/kolmogorov-smirnov.pdf>

Normy:

- ČSN IEC 50 191 - Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a jakost služby, 2003
- ČSN 30 0025 - Základní automobilové názvosloví. Základní části a ústrojí vozidel, příslušenství, výstroj a výbava. Definice základních pojmů.

Přílohy

Tabulka poskytnutých empirických dat.

Značka	Model	Motor	Typ	R. v.	I (km)	Popis poruchy
Škoda	Fabia	Zážehový	1.4	2002	163 551	Výměna vstřikovače
Suzuki	SX4	Zážehový	1.6	2001	83 461	Výměna zapalovacích kabelů
Daewoo	Matiz	Zážehový	1.0	1998	84 157	Výměna zapalovacích kabelů
Toytoa	Corolla	Zážehový	1.8	2007	94 869	Ucpané vstřikovače
Fiat	Brava	Zážehový	1.2	2002	155 642	Výměna zapalovacích kabelů
BMW	M3	Zážehový	3.0i	2007	98 748	Výměna zapalovacích svíček
Dodge	Caliber	Zážehový	2.0	2006	101 689	výměna zapalovacích cívek
Mercedes	Sprinter	Zážehový	2.5	2004	110 890	Oprava vstřikovacího zařízení
Škoda	Octavia	Zážehový	1.6 FSi	2005	119 457	Výměna zapalovacích svíček
Volkswagen	polo	Zážehový	1.2	2005	135 632	Oprava škrticí klapky
Renault	Scenic	Zážehový	1.6	2001	138 896	Výměna cívky zapalování
Opel	Zafira	Zážehový	1.8	1999	168 463	Výměna palivového čerpadla
Hyundai	Getz	Zážehový	1.3	2003	141 589	Výměna zapalovacích kabelů
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2001	142 365	Vadná zapalovací cívka 2. válce
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2	2002	94 879	Výměna zapalovacích cívek
Fiat	Brava	Zážehový	1.2	2002	155 642	Výměna zapalovacích svíček
Fiat	Punto	Zážehový	1.2 Mpi	1996	155 963	Výměna zapalovacích kabelů
Škoda	Felicia	Zážehový	1.3	1999	199 586	Výměna hlavy
Toytoa	Corolla	Zážehový	1.8	2004	156 235	Výměna vstřikovacích trysek
Ford	Escort	Zážehový	1.6	1995	157 892	Výměna palivového filtru
Citroen	Xantia	Zážehový	1.8	1996	159 879	Výměna filtru vzduchu
Suzuki	SX4	Zážehový	1.6	2001	73 589	Výměna zapalovacích svíček
Fiat	Stilo	Zážehový	1.6	2002	165 811	Výměna zapalovacího modulu
Škoda	Felicia	Zážehový	1.3 Mpi	2000	167 525	Výměna zapalovacích kabelů
Renault	Scenic	Zážehový	1.6	2001	138 896	Zapalovacích kabelů
Opel	Zafira	Zážehový	1.8	1999	168 463	Výměna relé pal. čerpadla
Fiat	Punto	Zážehový	1.2 Mpi	1996	173 842	Výměna vstřikovače
Renault	Kango	Zážehový	1.6 16v	2002	180 714	Výměna vstřikovače
Škoda	Felicia	Zážehový	1.3	1998	186 200	Zadřené palivové čerpadlo
Škoda	Favorit	Zážehový	1.3	1993	197 546	Oprava rozdělovače
Škoda	Octavia	Zážehový	2.0	2001	197 814	Výměna zapalovacích kabelů
Škoda	Felicia	Zážehový	1.3	1998	210 869	Výměna zapalovacího modulu
Opel	Omega	Zážehový	2.0	1997	212 580	Seřízení vstřikování
Fiat	Marea	Zážehový	1.6 16v	1997	228 951	Výměna zapalovací cívky
Škoda	Fabia	Zážehový	1.4 Mpi	2000	260 895	Výměna vstřikovacích trysek
Škoda	Felicia	Zážehový	1.6 Mpi	1997	270 669	Výměna váhy vzduchu
Škoda	Felicie	Zážehový	1.3 Mpi	1998	289 748	Výměna zapalovacích svíček
Škoda	Felicia	Zážehový	1.3 Mpi	1997	310 700	Výměna zapalovacího modulu
Audi	80	Zážehový	2.0	1992	330 174	Výměna palivového čerpadla
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2004	95 085	Oprava hlavy
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2004	105 332	Repas hlavy motoru

Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2004	105 500	Oprava hlavy
Suzuki	Swift	Zážehový	1.3	2000	110 599	Výměna olejové vany
Hyundai	i30	Zážehový	1.4	2009	125 005	Broušení hlavy motoru
Škoda	Octavia	Zážehový	1.8 T	2001	125 741	Oprava hlavy
Opel	Astra	Zážehový	1.6	2000	132 784	Zadřený motor
Citroen	Saxo	Zážehový	1.2	2001	165 280	Čištění víka motoru
Ford	Focus	Zážehový	1.6	1996	172 896	Broušení hlavy motoru
Fiat	Punto	Zážehový	1.2 Mpi	1996	173 842	Výměna hlavy
Fiat	Brava	Zážehový	1.6 16v	1997	175 121	Prasklá hlava motoru
Opel	Astra	Zážehový	1.6	1998	175 552	Repas hlavy motoru
Škoda	Favorit	Zážehový	1.3	1993	175 897	Výměna celého motoru
Škoda	Felicia	Zážehový	1.3	1999	199 586	Výměna těsnění pod hlavou
Fiat	Punto	Zážehový	1.2 Mpi	1996	155 963	Výměna cívky
Opel	Vectra	Zážehový	1.8	1998	215 589	Oprava hlavy
Opel	Astra	Zážehový	1.6	1998	215 744	Zadřený motor
Škoda	Octavia	Zážehový	1.8 20v	1998	220 351	Výměna těsnění pod hlavou
Chevrolet	Aveo	Zážehový	1.4	2007	48 593	Výměna vstřikovacích ventilů
Dacia	Logan	Zážehový	1.4	2004	89 580	Výměna vahadel ventilů
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2004	97 085	Výměna rozvodového řemene
Seat	Ibiza	Zážehový	1.2	2001	103 859	Výměna ventilu
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2004	105 867	Výměna vačkového hřídele
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2	2003	160 482	Výměna ventilu
Fiat	Punto	Zážehový	1.1	1997	139 481	Výměna vstřikovacích ventilů
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2004	105 515	Výměna ventilu
Opel	Corsa	Zážehový	1.2	1997	110 586	Výměna vačkového hřídele
Citroen	Berlingo	Zážehový	1.3	2005	113 464	Nové ventily
Opel	Astra	Zážehový	1.6	1998	175 552	Výměna ventilů
Škoda	Octavia	Zážehový	1.6 FSi	2005	119 457	Výměna sacích ventilů
Škoda	Octavia	Zážehový	1.6	2005	120 445	Výměna ventilů
Škoda	Octavia	Zážehový	1.6	2005	125 456	Výměna hydr. zdvihátek
Škoda	Octavia	Zážehový	1.8 T	2001	125 741	Výměna pístních kroužků
Škoda	Octavia	Zážehový	1.6	2004	128 965	Oprava hydraulických zdvihátek
Daihatsu	Terios	Zážehový	1.3	2001	132 052	Výměna napínací kladky
Renault	Thalia	Zážehový	1.4	1999	135 586	Výměna vstřikovacích ventilů
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2004	105 316	Výměna nadzdvihátek ventilů
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2	2003	160 482	Výměna ventilových vodítek
Citroen	Berlingo	Zážehový	1.3	2005	113 464	Rozvodový řemen
Renault	Megane	Zážehový	1.4	2000	161 521	Seřizování ventilů
Ford	Focus	Zážehový	1.6	1996	172 896	Výměna ventilu
Volkswagen	Passat	Vznětový	1.9 TDi	2002	148 336	Výměna hadic palivové soustavy
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2004	105 332	Výměna ventilového víka
Škoda	Favorit	Zážehový	1.3	1993	185 744	Seřízení ventilu
Opel	Vectra	Zážehový	1.8	1998	215 589	Výměna pístních kroužků
Seat	Cordoba	Zážehový	1.6	1997	215 245	Výměna termostatu
Škoda	Felicia	Zážehový	1.6	1999	255 321	Výměna vent. pružin a vahadel
Opel	Astra	Zážehový	1.6	2000	280 123	Střížený čep vačkového kola

Škoda	Felicie	Zážehový	1.3 Mpi	1998	289 748	Výměna rozvodového řemene
Škoda	Octavia	Zážehový	1.6 Mpi	1998	325 169	Výměna hydraul. zdvihátek
Ford	Escort	Zážehový	1.6 i	1994	196 586	Výměna vodní pumpy
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2003	113 425	Oprava Alternátoru
Škoda	Octavia	Zážehový	1.8 T	2001	125 741	Oprava turbodmychadla
Hyundai	Accent	Zážehový	1.6	2000	105 775	Výměna chladiče
Daihatsu	Terios	Zážehový	1.3	2001	132 052	Nová vodní pumpa
Škoda	Felicia	Zážehový	1.3 Mpi	1993	151 020	Výměna výfuku (3. díl)
Škoda	Fabia	Zážehový	1.2 HTP	2011	45 687	Výměna chladiče
Renault	Megane	Zážehový	1.4	2000	161 521	Výměna olejového filtru
Ford	Focus	Zážehový	2.0	2003	158 569	Výměna olejového čerpadla
Peugeot	106	Zážehový	1.0	1997	82 458	Výměna alternátoru
Mazda	323	Zážehový	1.8	1995	158 448	Výměna chladiče
Volkswagen	Passat	Zážehový	1.6	1996	245 628	Výměna olejového čerpadla
Opel	Astra G	Zážehový	1.6 i	1999	98 745	Oprava chladiče
Daewoo	Lanos	Zážehový	1.5	1998	158 324	Výměna termostatu
Audi	A6	Zážehový	4.2	2001	204 112	Oprava chladiče
Citroen	C2	Zážehový	1.4	2002	120 895	Výměna vodního čerpadla
Renault	Clio	Zážehový	1.2	1999	201 735	Oprava vodního čerpadla
Ford	Focus	Zážehový	1.8 16v	1999	236 888	Výměna vodní pumpy
Seat	Cordoba	Zážehový	1.6	1997	215 245	Oprava vodního čerpadla
Opel	Omega	Zážehový	2.5	1995	470 584	Výměna vodní pumpy
Daewoo	Lanos	Zážehový	1.5	1998	158 324	Výměna chladiče
Fiat	Brava	Zážehový	1.6 16v	1997	231 653	Vadné čidlo tlaku oleje
Ford	Escort	Zážehový	1.6 i	1995	158 841	Výměna 1. výfukového dílu
Škoda	Favorit	Zážehový	1.3	1993	185 744	Výměna alternátoru
Citroen	Xantia	Zážehový	1.8 i	1999	126 741	Výměna alternátoru
Fiat	Punto	Zážehový	1.2 Mpi	1996	163 142	Výměna vodní pumpy
Fiat	Punto	Zážehový	1.2 Mpi	1996	173 842	Výměna chladiče
Fiat	Bravo	Zážehový	1.6 16v	1997	147 699	Porucha startéru
Audi	A3	Zážehový	1.8	1999	157 891	Výměna chladiče
Škoda	Felicia	Zážehový	1.3	1996	264 785	Výměna vodní pumpy
Seat	Leon	Zážehový	1.4i 16v	2000	170 430	Výměna vodního chladiče
Škoda	Felicia	Zážehový	1.6 Mpi	1996	215 418	Výměna termostatu motoru
Fiat	Brava	Zážehový	1.6 16v	1997	175 121	Výměna chladiče
Fiat	Brava	Zážehový	1.6 16v	1997	172 145	Repas startéru
Fiat	Brava	Zážehový	1.6 16v	1997	177 897	Repas alternátoru
Renault	Clio	Zážehový	1.2	1999	201 735	Oprava chladiče vody
Škoda	Octavia	Zážehový	1.6 Mpi	1999	276 005	Nové čidlo teploty
Renault	Megane	Zážehový	1.6	1998	371 600	Výměna vodní pumpy
Citroen	Berlingo	Zážehový	1.4i	1996	170 541	Čidlo otáček klikového hřídele
Fiat	Marea	Zážehový	1.6 16v	1997	150 781	Výměna vadného termostatu
Ford	Mondeo	Vznětový	2.6 TDi	2001	215 589	Výměna vstřikovacího čerpadla
Citroen	Xara	Zážehový	1.8 16v	2000	135 612	Výměna čidla teploty
Opel	Astra G	Zážehový	1.6 i	1999	98 745	Oprava ventilátoru

Audi	A4	Vznětový	2.0 TDi	2006	65 789	Seřízení škrticí klapky
Citroen	Xantia	Vznětový	1.9	1998	299 684	Výměna celé elektroinstalace
Audi	A6	Vznětový	2.6	2003	86 984	Oprava filtr. boxu nafty
Hyundai	Matrix	Vznětový	1.5 TDi	2008	115 400	Oprava vstřikovacích trysek
Fiat	Ducato	Vznětový	2.3 JTD	2008	126 392	Výměna žhavicích svíček
BMW	E46	Vznětový	3.3	2004	287 586	Repas palivového čerpadla
Renault	Master	Vznětový	2.5 DCi	2001	365 056	Výměna vstřikovacích trubic
Ford	Fusion	Vznětový	1.4 TDCi	2004	135 698	Výměna žhavicích svíček
Ford	C-Max	Vznětový	1.6 TDCi	2004	138 526	Výměna vstřikovače
Ford	Mondeo	Vznětový	2.0 TDCi	2008	139 691	Čištění škrticí klapky
Volkswagen	Passat	Vznětový	1.9 TDi	2002	148 336	Výměna palivového filtru
Opel	Astra	Zážehový	1.6	1998	175 552	Výměna nadzdvihátek ventilů
Ford	C-Max	Vznětový	1.6 TDCi	2007	150 004	Výměna vstřikovací trysky
Mercedes	GL 420	Vznětový	4.0 CDi	2004	150 124	Výměna modulu žhavení
Volkswagen	Passat	Vznětový	1.9 TDi	2003	218 951	Kladka alternátoru
Ford	Mondeo	Vznětový	1.5	2004	156 822	Výměna palivového filtru
Peugeot	106	Vznětový	1.5	1998	160 858	Výměna vstřikovacího čerpadla
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2007	165 621	Oprava vstřikovacího čerpadla
Fiat	Doblo	Vznětový	1.3 JTD	2008	169 000	Vadné těsnění vstřikovačů
Volkswagen	Golf	Vznětový	1.9 TDi	2002	190 145	Výměna vadného vstřikovače
Ford	Mondeo	Vznětový	2.6 TDi	2001	215 589	Oprava vstřikovacích trysek
Ford	Focus	Zážehový	1.8 16v	1999	236 888	Rozvodová sada
Audi	A6	Vznětový	2.0 TDi	2002	218 157	Vadná škrticí klapka
Volkswagen	Golf	Vznětový	1.9 TDi	1994	225 641	Výměna žhavičů
Opel	Omega	Vznětový	2.5 TDi	1996	230 584	Výměna hlavního vstřikovače
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2005	185 747	Výměna nadzdvihátek ventilů
Renault	Scenic	Vznětový	1.9	2001	281 789	Výměna palivových trubic
Ford	Focus	Vznětový	1.8 TDCi	2000	127 114	Výměna vstřikovacího čerpadla
BMW	E46	Vznětový	3.3	2004	287 586	Nové čidlo u palivové soustavy
Citroen	Xantia	Vznětový	1.9	1998	299 684	Výměna žhaviče
Fiat	Ducato	Vznětový	2.3 JTD	2008	126 392	Oprava vstřikovačů
Audi	A6	Vznětový	2.5 TDi	2001	300 110	Výměna žhavicích svíček
Škoda	Felicia	Vznětový	1.9 D	1996	340 251	Repas vstřikovacího čerpadla
Peugeot	Boxer	Vznětový	2.5 TDi	1998	354 748	Repas vstřikovacího čerpadla
Renault	Master	Vznětový	2.5 DCi	2001	365 056	Oprava palivového čerpadla
Škoda	Felicia	Vznětový	1.9	1997	86 023	Oprava palivového čerpadla
Volkswagen	LT	Vznětový	2.8 TDi	2002	471 589	Výměna palivového potrubí
Volkswagen	LT	Vznětový	2.8 TDi	2002	538 425	Výměna palivového filtru
Renault	Traffic	Vznětový	2.5 DCi	2008	97 754	Centrální oprava motoru
Fiat	Ducato	Vznětový	2.3 JTD	2008	126 392	Výměna těsnění hlavy válce
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2004	145 789	Výměna hlavy motoru
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2007	150 741	Zadřený motor
Volkswagen	Passat	Vznětový	1.9 TDi	2000	188 486	Výměna těsnění pod hlavou
BMW	E39	Vznětový	2.5 TDS	1999	229 847	Výměna prasklé hlavy motoru
BMW	E34	Vznětový	2.5 TDS	1995	240 147	Výměna těsnění pod hlavou

Škoda	Felicia	Vznětový	1.9 D	1996	317 895	Oprava hlavy
BMW	E39 525	Vznětový	2.5 TDS	1997	440 147	Výměna prasklé hlavy motoru
Peugeot	206	Vznětový	1.6 HDi	2004	125 002	Výměna rozvodných kol
Ford	C-Max	Vznětový	1.8 TDCi	2008	136 879	Výměna rozvodového řemene
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2004	145 789	Seřízení předstihu
Fiat	Doblo	Vznětový	1.3 JTD	2008	169 000	Zapečené pístní kroužky
Volkswagen	Passat	Vznětový	1.9 TDi	2003	218 951	Výměna řemenu alternátoru
Audi	A4	Vznětový	1.9 TDi	2000	182 456	Výměna vodících kladek
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2007	182 689	Výměna vačkového hřídele
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2005	185 747	Výměna vačkového hřídele
Volkswagen	Caddy	Vznětový	1.9 SDi	2003	238 987	Oprava vstřikovačů
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2000	190 235	Výměna snímače vačk. hřídele
Volkswagen	Passat	Vznětový	2.0 TDi	2006	198 000	Výměna rozvodu
Audi	A6	Vznětový	2.0 TDi	2002	218 157	Výměna ventilů
Volkswagen	Passat	Vznětový	1.9 TDi	2003	259 951	Výměna řemenice alternátoru
Škoda	Felicia	Vznětový	1.9 D	1996	268 500	Výměna vačkového hřídele
BMW	E39 525	Vznětový	2.5 TDS	1997	440 147	Zabroušení sedel ventilů
Audi	A4	Vznětový	1.9 TDi	2000	450 451	Vadná viskózní spoj. na větráku
BMW	E46	Vznětový	3.3	2004	287 586	Nové turbodmychadlo
Ford	Focus	Vznětový	1.8	2001	135 489	Výměna vodního čerpadla
Ford	Tranzit	Vznětový	2.5	2001	330 778	Oprava chladiče
Ford	Mondeo	Vznětový	2.0 TDCi	2004	391 584	Oprava startéru
Renault	Express	Vznětový	1.9	1996	223 421	Oprava Alternátoru
Seat	Alhambra	Vznětový	1.9	2003	179 856	Nová vodní pumpa
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2006	198 000	Výměna turbodmychadla
Škoda	Felicia	Vznětový	1.9	2000	161 889	Výměna výfuku (1. díl)
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2001	215 789	Výměna turbodmychadla
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	1998	213 588	Výměna turbodmychadla
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2001	174 589	Výměna turbodmychadla
Škoda	Superb	Vznětový	1.9 TDi	2003	226 148	Výměna turbodmychadla
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9 TDi	2005	108 321	Oprava olejového čerpadla
Škoda	Fabia	Vznětový	1.9 TDi	2005	178 478	Výměna intercoleru
Volkswagen	LT	Vznětový	2.5	2000	435 896	Oprava ventilátoru chladiče
Volkswagen	Passat	Vznětový	1.9 TDi	2003	218 951	Výměna vodního čerpadla
Škoda	Octavia	Vznětový	1.9	2005	153 362	Oprava palivového čerpadla
Fiat	Doblo	Vznětový	1.3 JTD	2008	169 000	Ohlá nadzdvihátka ventilů
Volkswagen	Passat	Vznětový	1.9 TDi	2001	180 451	Výměna alternátoru
Volkswagen	Passat	Vznětový	1.9 TDi	1997	163 782	Výměna turbodmychadla

Seznam obrázků a tabulek

- Obr. 1.1. Tepelný oběh zážehového motoru
- Obr. 1.2. Tepelný oběh vznětového motoru
- Obr. 1.3. Klikový mechanismus spalovacího motoru
- Obr. 1.4. Ventilový rozvod OHV
- Obr. 1.5. Hlava válců
- Obr. 1.6. Schéma palivové soustavy zážehového motoru
- Obr. 1.7. Schéma palivové soustavy vznětového motoru (common rail)
- Obr. 1.8. Schéma zapalovací soustavy zážehového motoru
-
- Obr. 2.1. Schéma rozdělení spolehlivosti
- Obr. 2.2. Průběh hustoty pravděpodobnosti spojitě náhodné veličiny
- Obr. 2.3. Histogram absolutní četnosti typický pro exponenciální rozdělení
- Obr. 2.4. Histogram absolutní četnosti typický pro Weibullovo rozdělení
- Obr. 2.5. Průběh distribuční funkce pro různé číselné hodnoty λ .
- Obr. 2.6. Průběh hustoty pravděpodobnosti
- Obr. 2.7. Průběh distribuční funkce Weibullova rozdělení
- Obr. 2.8. Hustota pravděpodobnosti Weibullova rozdělení
- Obr. 2.9. Stanovení parametru rovnice přímky
- Obr. 2.10. Stanovení parametru rovnice přímky
-
- Obr. 3.1. Schéma rozdělení dat
- Obr. 3.2. Histogram četností poruch pohyblivých částí vznětového motoru
- Obr. 3.3. Histogram četností poruch pohyblivých částí vznětového motoru po úpravě
- Obr. 3.4. Parametry rovnice přímky
- Obr. 3.5. Grafické znázornění bezporuchovosti, intenzity a hustoty pravděpodobnosti poruch
- Obr. 3.6. Bezporuchovost příslušenství motoru
- Obr. 3.7. Hustota pravděpodobnosti poruch příslušenství motoru
- Obr. 3.8. Intenzita poruch příslušenství motoru
- Obr. 3.9. Bezporuchovost pevných částí motoru
- Obr. 3.10. Hustota pravděpodobnosti poruch pevných částí motoru
- Obr. 3.11. Intenzita poruch pevných částí motoru
- Obr. 3.12. Bezporuchovost pohyblivých částí motoru
- Obr. 3.13. Hustota pravděpodobnosti poruch t pohyblivých částí motoru

Obr. 3.14. Intenzita poruch pohyblivých částí motoru
Obr. 3.15. Porovnání středních hodnot do poruchy příslušenství motoru
Obr. 3.16. Porovnání středních hodnot do poruchy pevných částí motoru
Obr. 3.17. Porovnání středních hodnot do poruchy pohyblivých částí motoru

Tab. 3.1. Tabulka záznamu poruch
Tab. 3.2. Tabulka hodnot kilometrického proběhu do poruchy
Tab. 3.3. Tabulka četností poruch pro sestavení histogramu
Tab. 3.4. Tabulka četností poruch pro sestavení histogramu po úpravě šířky třídy
Tab. 3.5. Tabulka hodnot pro sestavení grafu lineární regrese
Tab. 3.6. Poruchy příslušenství zážehového motoru
Tab. 3.7. Hodnoty potřebné pro stanovení Kolmogorovova Smirnova testu
Tab. 3.8. Střední doby do poruchy pro všechny skupiny poruch

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc. Ing. Janu Famfulíkovi, Ph.D. za odbornou pomoc při tvoření mé bakalářské práce, panu Kuflovi z autoservisu AutoKufel za poskytnutí empirických dat a panu Ing. Jakubovi Šmirausovi za cenné odborné rady.